

Análise do Potencial de Melhoria de Eficiência Energética através da Aplicação de Tecnologias mais Modernas em Sistemas de Frio

Tiago Jorge Freitas Ferreira

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Dr. Clito Afonso

Orientador na Empresa: Eng.º João Paulo Pinto



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Junho de 2015

Análise do Potencial de Melhoria de Eficiência Energética através da Aplicação de Tecnologias mais Modernas em Sistemas de Frio

Tiago Jorge Freitas Ferreira

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Clito Afonso

Orientador na Empresa: Eng.º. João Paulo Pinto



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Junho de 2015

Resumo

É evidente a crescente preocupação com a redução de custos energéticos e de impactos ambientais no mundo, sendo que em Portugal, a indústria ocupa cerca de um terço do consumo energético desde as últimas duas décadas. Portanto, é importante estudar as instalações na indústria de modo a conseguir reduzir os seus custos energéticos, recorrendo à melhoria da eficiência energética, mais concretamente, na indústria de frio, onde os sistemas de refrigeração podem atingir percentagens muito altas do consumo total das empresas deste setor. Esses estudos permitirão encontrar possíveis oportunidades de melhoria da eficiência energética, através da implementação de novas tecnologias, reduzindo, dessa forma, os custos energéticos das empresas e reduzindo o impacto no ambiente.

Desta forma, foram realizadas auditorias simples a duas empresas do setor do frio, caracterizando as suas instalações, câmaras frigoríficas, compressores, fluidos frigoríficos usados e todos os equipamentos relativos à refrigeração destas empresas.

Com os resultados obtidos, conseguiu-se concluir que existem várias oportunidades de melhoria da eficiência energética, através da instalação de tecnologias mais modernas e da implementação de boas práticas. Foi possível, ainda, comparar as duas empresas quanto ao seu consumo energético, volume de câmaras, tipos de sistemas de refrigeração usados, de equipamentos, de manutenção, de controlo e, ainda, quanto às suas práticas. Foi feita, também, uma monitorização dos consumos de alguns equipamentos e algumas câmaras de uma das empresas.

Seria importante, num próximo estudo, fazer uma análise mais pormenorizada a uma das empresas, monitorizando todos os equipamentos e todas as câmaras, de modo a conseguir avaliar qual é a fração do consumo que a refrigeração ocupa na empresa e, possivelmente, fazer a implementação de alguma tecnologia emergente, estudando o impacto que provocou no consumo da empresa.

Analysis of energy efficiency improvement potential by applying the latest technologies in refrigeration systems

Abstract

Clearly the growing concern over the reduction of energy costs and environmental impacts in the world, and in Portugal, the industry occupies about a third of energy consumption since the last two decades. Therefore, it is important to study the facilities on industry so successfully reduce their energy costs, drawing on improving energy efficiency, specifically, in the refrigeration industry where cooling systems can reach very high percentages of total consumption of the companies in this sector. These studies will find possible opportunities for improving energy efficiency through the implementation of new technologies, thus reducing the energy costs for businesses and reducing environmental impact.

Thus, simple audits were carried out two cold sector companies, featuring its facilities, cold rooms, compressors, refrigerants used and all equipment related to the cooling of these companies.

With the results, we were able to conclude that there are several opportunities for improving energy efficiency through the installation of more modern technologies and implementing best practices. It was also possible to compare the two companies in their energy consumption, volume of cameras, types of used cooling systems, equipment, maintenance, control, and also about their practices. It was made also a monitoring of consumption of some equipment and some chambers of the companies.

It would be important in the near study, do a more detailed analysis of the companies, monitoring all equipment and all cameras in order to be able to assess what fraction of consumption cooling occupies in the company and possibly make the implementation of any emerging technology, studying the impact that caused the consumption of the company.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que me ajudaram e acompanharam na realização desta dissertação, nomeadamente, ao Professor Doutor Clito Afonso por toda a disponibilidade em ajudar, por todas as críticas construtivas, por todo o apoio e por todo o profissionalismo, ao Engenheiro João Paulo Pinto por me ter recebido na empresa e por todo o apoio e ajuda prestadas.

Agradeço, também, à minha mãe, pai, irmã, namorada e, ainda, à minha restante família e amigos pelo apoio constante, durante todo o percurso académico.

Um sincero obrigado!

Índice

1	Introdução	1
1.1	Apresentação da Empresa SKK®	1
1.2	A Dissertação na SKK®	1
1.3	Objetivos da Dissertação	2
1.4	Metodologia de Trabalho na Dissertação	2
1.5	Temas Abordados	2
2	Estado da Arte	3
2.1	Termodinâmica	3
2.1.1	Definição e Breve História	3
2.1.2	Leis da Termodinâmica	4
2.2	Refrigeração	5
2.2.1	Definição e Aplicações	5
2.2.2	Breve História.....	5
2.2.3	Máquina Térmica e Máquina Frigorífica.....	6
2.2.4	Formação do Ciclo Frigorífico	7
2.2.5	Sistemas de Refrigeração.....	8
2.2.6	Ciclo de Compressão a Vapor	9
2.2.7	Ciclo de Absorção	14
2.2.8	Fluidos Frigorígenos	15
2.2.9	Compressores	16
2.2.10	Sistemas de expansão	16
2.2.11	Evaporadores	17
2.2.12	Condensadores.....	17
2.2.13	Outros Componentes de Sistemas de Refrigeração	17
2.2.14	Cadeia de Frio.....	19
2.3	Estado da Refrigeração Comercial e Industrial	20
2.4	Estado do Frio Industrial em Portugal	20
2.5	Armazenamento do Frio	21
2.6	Uso de Energia e Poupanças na Refrigeração.....	21
2.6.1	Distribuição dos Consumos numa Empresa com Sistema de Frio	22
2.6.2	Compressores	22
2.6.3	Condensador	24

2.6.4	Evaporador.....	25
2.6.5	Sistema de Expansão	26
2.6.6	Isolamento	26
2.6.7	Descongelamento.....	27
2.6.8	Sensores de Temperatura.....	28
2.6.9	Trigeração	28
2.7	Sistemas Frigoríficos Emergentes	28
2.7.1	Ciclo Transcrítico a CO ₂	30
2.7.2	Ciclos com Aplicação de Energia Solar	31
2.8	Auditorias Energéticas	32
2.9	Eficiência Energética	34
3	Apresentação do Problema	35
3.1	Estudo de Sistemas de Refrigeração	35
3.2	Escolha das Empresas	36
3.3	Contacto com as Empresas	36
3.4	Reuniões com as Empresas	37
3.5	Trabalho de Campo.....	37
3.5.1	Primeira Visita.....	38
3.5.2	Segunda Visita.....	38
4	Análise dos Resultados	40
4.1	Dados Gerais das Empresas	40
4.2	Instalações das Empresas	42
4.2.1	Dimensão das Instalações e Potência Instalada de Compressores	42
4.2.2	Ciclo Termodinâmico e seus Componentes	46
4.3	Consumos de Eletricidade e Quantidade de Carne Armazenada das Empresas	49
4.3.1	Variação do Consumo de Eletricidade Anual	50
4.3.2	Quantidade de Carne Armazenada e Eletricidade Consumida.....	52
4.4	Consumo de Eletricidade com os Equipamentos <i>Efergy</i> e <i>Owl</i>	54
4.4.1	Relação do Consumo das Câmaras com a sua Temperatura Interior	55
4.4.2	Consumo dos Compressores.....	56
4.4.3	Consumo da Torre de Refrigeração.....	57
4.4.4	Consumos Totais	57
4.5	Propostas de Melhoria através da Utilização de Novas Tecnologias	58
5	Conclusões.....	60

6	Referências Bibliográficas.....	63
7	Anexos.....	65
7.1	ANEXO A – Lista de Pontos a Ver nas Empresas	65
7.2	ANEXO B – Dados Técnicos <i>Efergy</i> ® E2 Classic	72
7.3	ANEXO C – Dados Técnicos <i>Owl</i> ® +USB	73

Índice de figuras

Figura 1 – Máquina Térmica (à esquerda) e Máquina Frigorífica (à direita). Adaptado de [1].	6
Figura 2 – Ciclo Frigorífico Básico. Adaptado de [1].	8
Figura 3 – Esquema Representativo do Ciclo de Compressão a Vapor Ideal e Diagrama $T-s$ correspondente. Adaptado de [1].	11
Figura 4 – Esquema Representativo do Ciclo de Compressão a Vapor Real e Diagrama $T-s$ correspondente. Adaptado de [1].	11
Figura 5 – Esquema Representativo do Processo de Absorção de Calor pelo Evaporador. Adaptado de [3].	12
Figura 6 – Esquema Representativo do Processo de Compressão. Adaptado de [3].	13
Figura 7 – Esquema Representativo da Rejeição de Calor no Condensador. Adaptado de [3].	13
Figura 8 – Esquema Representativo do Processo de Expansão. Adaptado de [3].	14
Figura 9 – Esquema Representativo do Ciclo de Absorção. Adaptado de [2].	15
Figura 10 – Esquema Representativo da Cadeia de Frio. Adaptado [2].	19
Figura 11 – Distribuição dos Consumos Energéticos de um Armazém de Refrigeração. Adaptado de [8].	22
Figura 12 – Comparação entre Compressão num e em dois Andares de Compressão. Adaptado de [3].	24
Figura 13 – Diagrama $P-h$ Comparativo entre um Sistema de Compressão num e em dois Andares. Adaptado de [3].	24
Figura 14 – Metodologia de uma Auditoria Energética. Adaptado de [21].	33
Figura 15 – Contribuição Relativa para a Poupança Energética dos Equipamentos. Adaptado de [8].	34
Figura 16 – Empresa 1: Câmara de Armazenamento de Embalagens.	46
Figura 17 – Empresa 1: Câmara de Armazenamento de Carcaças Inteiras.	46
Figura 18 – Empresa 2: Câmara de Pequenas Dimensões.	46
Figura 19 – Empresa 2: Câmara de Grandes Dimensões.	46
Figura 20 – Empresa 1: Sistemas Monoblocos.	48
Figura 21 – Empresa 1: Unidades Condensadoras.	48
Figura 22 – Empresa 2: Compressores.	48
Figura 23 – Empresa 1: Condensadores.	49
Figura 24 – Empresa 2: Torre de Refrigeração.	49
Figura 25 – Empresa 1: Consumo de Energia Ativa e Reativa.	50
Figura 26 – Empresa 2: Consumo de Energia Ativa.	51
Figura 27 – Empresa 2: Consumo de Eletricidade Anual vs Massa de Carne Anual.	51

Figura 28 – Empresa 2: Câmara 12 - Consumo de Eletricidade vs Temperatura Interior	55
Figura 29 – Empresa 2: Câmara 15 - Consumo de Eletricidade vs Temperatura Interior	56
Figura 30 – Empresa 2: Consumo de Eletricidade do Compressor	56
Figura 31 – Empresa 2: Consumo de Eletricidade da Torre de Refrigeração	57

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Classificação dos Sistemas de Refrigeração. Adaptado de [2].....	8
Tabela 2 – Classificação dos Fluidos Frigoríficos. Adaptado de [2]	15
Tabela 3 – Tipos de Compressores. Adaptado de [2].....	16
Tabela 4 – Tipos de Sistemas de Expansão. Adaptado de [2].....	17
Tabela 5 – Condutibilidade e Resistência Térmica com $e=20\text{mm}$ de Vários Isolamentos. Adaptado de [16]	27
Tabela 6 – Sistemas Frigoríficos Emergentes para Aplicações Alimentares. Adaptado de [18]	29
Tabela 7 – Resumo de Sistemas Acionados Termicamente Passíveis de Usar Sistemas Solares. Adaptado de [20]	32
Tabela 8 – Dados Gerais das Empresas Estudadas	41
Tabela 9 – Empresa 1: Dados sobre as Instalações	44
Tabela 10 – Empresa 2: Dados sobre as Instalações	45
Tabela 11 – Ciclo Termodinâmico e seus Componentes	48
Tabela 12 – Empresa 2: Dados Técnicos do Compressor	49
Tabela 13 – Consumo de Energia das Empresas	52
Tabela 14 – Empresa 1: Quantidade de Carne Armazenada e Eletricidade Consumida.....	54
Tabela 15 – Empresa 2: Quantidade de Carne Armazenada e Eletricidade Consumida.....	54
Tabela 16 – Consumos de Eletricidade Medidos pelos Equipamentos <i>Efergy</i> e <i>Owl</i>	58

Nomenclatura

h	Entalpia Específica	[J/kg]
\dot{m}	Caudal Mássico	[kg/s]
p	Pressão	[Pa]
\dot{Q}_H	Potência Calorífica Rejeitada no Condensador	[W]
\dot{Q}_L	Potência Calorífica Absorvida no Evaporador	[W]
s	Entropia Específica	[J/(kg.K)]
T	Temperatura	[K]
\dot{W}	Trabalho Líquido do Compressor	[W]

Siglas

<i>AC</i>	Área de chão
<i>CEPEA</i>	Custo Eletricidade por Energia Ativa
<i>CEPMC</i>	Custo Eletricidade por Massa de Carne
<i>COP</i>	Coefficiente de Performance
<i>EA</i>	Energia Ativa
<i>EAPMC</i>	Energia Ativa por Massa de Carne
<i>ER</i>	Energia Reativa
<i>HC</i>	Horário de Cheia
<i>HFC</i>	Hidrofluorcarbonetos
<i>HP</i>	Horário de Ponta
<i>HSV</i>	Horário de Super Vazio
<i>HVN</i>	Horário de Vazio Normal
<i>MC</i>	Motores no Condensador
<i>ME</i>	Motores no Evaporador
<i>P&D</i>	Pesquisa e Desenvolvimento
<i>PC</i>	Potência Instalada de Compressores
<i>PCPV</i>	Potência de Compressores por Unidade de Volume
<i>PTPV</i>	Potência Total Dedicada ao Frio por Unidade de Volume
<i>VPMC</i>	Volume por Massa de Carne

1 Introdução

A presente dissertação inclui-se na área da refrigeração e tem como objetivo estudar o impacto que as tecnologias modernas poderão ter em casos concretos, mais precisamente na melhoria da eficiência energética e na redução de custos energéticos.

No capítulo presente, será apresentada a empresa SKK, na qual foi desenvolvido o projeto, bem como a descrição e desenvolvimento do mesmo, os seus objetivos, a metodologia de trabalho e os temas abordados.

1.1 Apresentação da Empresa SKK®

A SKK® é uma empresa cujas áreas de ação são a Refrigeração e a Climatização, centrando a sua ação na revenda e na distribuição de componentes de frio e de ar condicionado e ainda apoiando os seus clientes em soluções de engenharia de acordo com as suas necessidades.

A empresa foi fundada em 1998, acumulando, desde essa altura, larga experiência nas áreas da Refrigeração, Ar Condicionado, Aquecimento e Ventilação. Tem a sua sede social em Matosinhos.

Existe uma responsabilidade, por parte da empresa, em desenvolver soluções tecnologicamente avançadas e eficientes e que tenham o mínimo impacto ambiental, sendo que o principal objetivo deste trabalho é, precisamente, propor, em casos concretos, soluções mais eficientes que reduzam custos energéticos e tenham um menor impacto ambiental do que as soluções utilizadas nesses casos.

1.2 A Dissertação na SKK®

A dissertação desenvolvida nasce como uma continuação da dissertação desenvolvida anteriormente pelo Engenheiro Hugo Pinto, “Caracterização do Parque Nacional de Refrigeração em Setores de Atividade para os quais o Frio Industrial é Crítico”, na qual procurou informação acerca das instalações de setores de atividade específicos, formulou a informação recebida e, desse modo, caracterizou o parque de refrigeração em Portugal. Surge também na sequência do crescente cuidado em reduzir custos energéticos e também da crescente preocupação com questões ambientais, que estão intrinsecamente ligadas a uma melhoria da eficiência energética das instalações de refrigeração na indústria.

1.3 Objetivos da Dissertação

Com esta dissertação, pretende-se identificar o nível tecnológico de componentes de sistemas de refrigeração, a partir da análise de casos concretos e assim identificar, assim, que possíveis melhorias na eficiência energética e que poupanças no consumo energético poderiam ocorrer, se fossem aplicadas tecnologias mais modernas nesses componentes.

1.4 Metodologia de Trabalho na Dissertação

No planeamento da presente dissertação, as etapas que foram tidas em conta na metodologia de trabalho foram:

- Estudar conceitos acerca da refrigeração tais como seus principais componentes e principais processos termodinâmicos envolvidos;
- Identificar as empresas que serão objeto do estudo;
- Planear o levantamento detalhado da informação necessária;
- Conduzir o trabalho de campo, que inclui visita a algumas instalações de algumas empresas, e realizar uma pequena auditoria, recolhendo o máximo de informação possível, conhecendo, também, os tipos de equipamentos instalados e os processos utilizados;
- Estruturar e tratar a informação recolhida durante as visitas às empresas;
- Encontrar correlações entre boas práticas e poupanças energéticas;
- Analisar a economia do retorno na implementação de tecnologias atuais.

1.5 Temas Abordados

- Estado da arte da refrigeração;
- Caracterização do problema e recolha de informação;
- Análise dos resultados e atualização de componentes com tecnologias mais eficientes;
- Conclusões e possíveis trabalhos futuros.

2 Estado da Arte

Neste capítulo, serão abordados os temas que foram essenciais para numa primeira fase compreender o tema da dissertação e mais tarde para elaboração da mesma propriamente dita.

Este capítulo está dividido em oito subcapítulos:

- Termodinâmica;
- Refrigeração;
- Estado da Refrigeração Comercial e Industrial;
- Estado do Frio Industrial em Portugal
- Armazenamento do Frio;
- Uso de Energia e Poupança na Refrigeração;
- Sistemas Frigoríficos Emergentes;
- Auditorias Energéticas;
- Eficiência Energética.

2.1 Termodinâmica

2.1.1 Definição e Breve História

O nome Termodinâmica (*Thermodynamics*) provém do termo grego *therme* (calor) e *dynamis* (energia) [1].

É a área da Física que estuda a energia, as suas transformações e a sua relação com os estados da matéria [1].

Apesar dos princípios da Termodinâmica existirem desde a criação do universo, esta não surgiu como uma ciência, até à construção com sucesso em Inglaterra, das primeiras máquinas a vapor atmosféricas, por Thomas Savery, em 1697, e Thomas Newcomen em 1712. Estas máquinas eram muito lentas e ineficientes, mas abriram o caminho para o desenvolvimento desta nova ciência [1].

O termo Termodinâmica foi, pela primeira vez, usado numa publicação de Lord Kelvin em 1849 e o primeiro livro sobre a área foi escrito em 1859, por William Rankine [1].

2.1.2 Leis da Termodinâmica

Existem quatro leis fundamentais da Termodinâmica, estas são restrições gerais que a Natureza impõe a todas as transformações e, além disso, requerem o uso de palavras primitivas de modo a que não tenham sinónimos nem definições precisas.

A **Lei Zero da Termodinâmica** estabelece que, se dois corpos estão em equilíbrio térmico com um terceiro corpo, eles também estão em equilíbrio térmico um com o outro. Ao substituir o terceiro corpo por um termómetro, a Lei Zero pode ser rerepresentada deste modo: dois corpos estão em equilíbrio se ambos têm a mesma temperatura lida, mesmo que não estejam em contacto entre si [1].

Esta lei foi pela primeira vez formulada e registada por R. H. Fowler, em 1931. Como o nome sugere, a sua importância como um princípio físico fundamental foi reconhecida mais de meio século depois da formulação da Primeira e da Segunda Leis da Termodinâmica. Foi denominada Lei Zero uma vez que deve ser precedida da Primeira e da Segunda Leis da Termodinâmica [1].

A **Primeira Lei da Termodinâmica**, também conhecida pela lei da conservação de energia, fornece uma base sólida para o estudo das relações entre as várias formas de energia e suas interações. Baseada em observações experimentais, a Primeira Lei estabelece que a energia não pode ser criada ou destruída durante um processo, apenas pode mudar a sua forma, assim, cada pequena quantidade de energia deve ser contabilizada durante um processo [1].

A **Segunda Lei da Termodinâmica** afirma que os processos ocorrem numa determinada direção e que a energia tem qualidade, bem como quantidade. É também usada para determinar limites teóricos de desempenho de sistemas, como bombas de calor ou sistemas frigoríficos, bem como prever o grau de conclusão das reações químicas [1].

Existem vários enunciados válidos da Segunda Lei da Termodinâmica.

O enunciado de Kelvin-Planck diz que *“É impossível para qualquer dispositivo que opera num ciclo receber calor de um único reservatório e produzir um montante de trabalho líquido”* [1].

O enunciado de Clausius diz que *“É impossível construir um dispositivo que opere num ciclo e não produzir outro efeito, a não ser a transferência de calor de um corpo a uma temperatura mais baixa para um a uma temperatura maior”* [1].

É importante referir que um processo não pode ocorrer, a não ser que satisfaça quer a Primeira quer a Segunda Leis da Termodinâmica [1].

A **Terceira Lei da Termodinâmica** afirma que a entropia de uma substância cristalina, à temperatura de zero absoluto, é zero. Fornece uma base absoluta para os valores de entropia para todas as substâncias [1].

2.2 Refrigeração

Neste subcapítulo, serão apresentados alguns conceitos de refrigeração, entre eles a sua definição e objetivos, uma breve história da refrigeração, explicação do ciclo teórico de Carnot, do ciclo de compressão a vapor e do ciclo de absorção. Serão, ainda, apresentados os componentes mais comuns numa instalação frigorífica e, ainda, como é constituída a cadeia de frio.

2.2.1 Definição e Aplicações

Etimologicamente, a designação refrigeração provém do latim *frigus* que significa frio [2].

É definida como o processo de extração de calor a partir de uma substância ou meio a baixa temperatura, a qual se pretende manter, e transferi-lo para um meio a uma temperatura mais elevada [2].

Hoje em dia, a refrigeração é usada em diversas aplicações e desempenha um papel de grande relevância em diversas atividades do tipo comercial e industrial tais como: conservação de produtos perecíveis, fabricação de gelo, ringues de patinagem, fabrico e refrigeração de bebidas, indústria farmacêutica e química, climatização, liquefação do ar, tratamento de metais e medicina [2].

Tem um grande impacto no setor social, na medida em que cria empregos a nível industrial, comercial e de serviços, torna possível a conservação de produtos perecíveis, desde a produção ao consumo, o que permite um melhor suprimento de alimentação às populações, promove a saúde e, com o condicionamento do ar, torna possível criar ambientes de trabalho confortáveis ao Homem [2].

Na refrigeração, existem vários fatores que devem ser controlados, além da extração de calor, que são cruciais quando se trata da conservação de produtos perecíveis. Entre eles estão: a temperatura, a humidade relativa, o ar novo, a circulação e a velocidade do ar [2].

2.2.2 Breve História

A produção de frio é um processo que difere em muito do processo de produção de calor, surgindo apenas no século XIX, enquanto a produção de calor surgiu na idade do gelo. Surgiu com a necessidade que sempre existiu de conservar os produtos perecíveis provenientes da caça, ou outros produtos como ervas de chás ou peixe [2].

Considera-se que a origem da refrigeração artificial remonta a 1755 quando o escocês William Cullen conseguiu congelar água [1].

A refrigeração, usando o ciclo de compressão a vapor, remonta a 1834, quando o inglês Jacob Perkins recebeu uma patente para uma máquina de gelo com ciclo fechado, usando éter como

fluido refrigerante. Em 1850, Alexander Twining começou a projetar e a construir máquinas de gelo com um ciclo de compressão a vapor, usando éter etílico. No princípio do século XIX, surgiram os primeiros frigoríficos com gelo natural. No entanto, estes frigoríficos operavam de forma não cíclica e tinham como inconvenientes, a necessidade de um recipiente para recolha da água formada, a necessidade de substituição da carga de gelo mal este se fundisse totalmente. Havendo falha de gelo, o frigorífico deixaria de operar. Este tipo de refrigeração não cíclica ainda é utilizado atualmente, para a refrigeração de produtos por curtos períodos de tempo, como no transporte de produtos farmacêuticos ou no uso de caixas isotérmicas para manutenção de baixas temperaturas em bebidas [1].

Por outro lado, verificou-se que o gelo natural, como fluido refrigerante, constituía um problema para a saúde, devido aos resíduos que continha. Um grande impulso no uso da produção artificial de gelo ficou a dever-se ao aparecimento da eletricidade, no início do século XX. Com esta energia, foi possível a produção de gelo em casa dos consumidores. Em 1913, surgiu o primeiro frigorífico doméstico, com uma fraca aceitação e que era operado manualmente. Em 1920, surgiu o primeiro frigorífico acionado eletricamente e que funcionava de forma automática [1].

2.2.3 Máquina Térmica e Máquina Refrigerante

Uma máquina térmica é um dispositivo que permite converter calor em trabalho. Recebe calor de uma fonte a alta temperatura, converte parte desse calor em trabalho e rejeita o restante para um meio a baixa temperatura [1].

Numa máquina refrigerante, o ciclo tem o sentido contrário ao da máquina térmica, isto é, é retirado calor de um espaço a baixa temperatura, que se quer manter, cedendo uma maior quantidade ao exterior. No entanto, este processo não poderia ocorrer naturalmente, pois o calor flui de uma fonte a alta temperatura para um meio a uma temperatura inferior, sendo então necessário um dispositivo que aplique trabalho ao sistema [1].

Na Figura 1, é evidenciado um esquema da máquina térmica e um da máquina refrigerante.

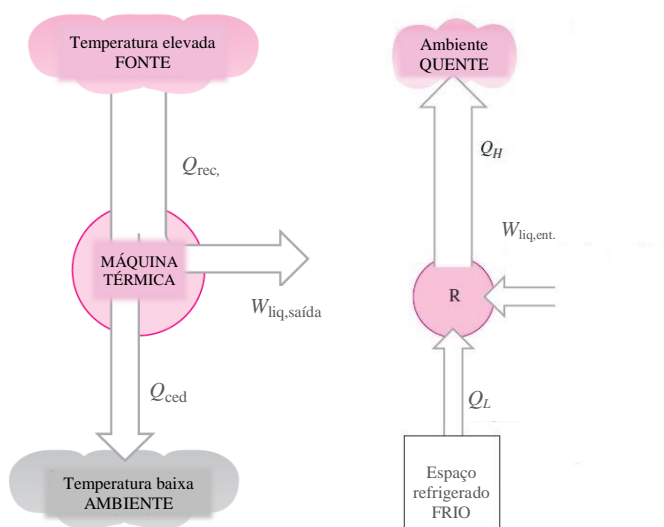


Figura 1 – Máquina Térmica (à esquerda) e Máquina Refrigerante (à direita). Adaptado de [1]

2.2.4 Formação do Ciclo Frigorífico

Admitindo que se pretendia arrefecer um determinado fluido, para tal apenas seria necessário fazê-lo passar num evaporador (permutador de calor) onde, no seu interior, circularia um fluido frigorigéneo proveniente de um reservatório. Uma vez que a capacidade de um fluido em absorver calor é maior numa mudança de fase, o evaporador é alimentado continuamente com fluido frigorigéneo na fase de líquido saturado, que assim passa do estado líquido ao estado de vapor, à custa do calor retirado ao ar que se pretende arrefecer – calor latente de vaporização. O fluido deve encontrar-se a uma temperatura inferior à pretendida para o ar, de modo a que este, por cedência de calor, possa ser arrefecido. O próximo passo poderia ser, após a saída do fluido do evaporador, a sua reintrodução, de alguma forma, de novo no evaporador, isto é, o mesmo fluido passaria a ser recirculado, estando-se assim perante uma tentativa de formação de um ciclo frigorífico. No entanto, no reservatório não se teria líquido, mas sim vapor e este deixaria de mudar de fase no evaporador. O que aconteceria seria um aumento da sua temperatura, sobreaquecendo-o e, com as sucessivas passagens do fluido no evaporador, a temperatura aumentaria consecutivamente, até que a sua temperatura fosse igual à do ar que se pretende arrefecer, terminando, assim, a transferência de calor entre os dois, não havendo o arrefecimento do ar. Deste modo, não se estaria em regime permanente nem perante um ciclo [2].

O objetivo é, então, ter a temperatura de entrada do líquido no evaporador sempre igual, de modo a que se esteja em regime permanente. Para tal, é necessário rejeitar o calor latente de vaporização absorvido, de modo a que o fluido condense. Isso poderia ser feito aumentando a sua temperatura, de tal forma a que seja superior à de um outro fluido que se encontre disponível, como o ar, o qual, por cedência de calor, condensaria. Assumindo que o fluido à saída do evaporador se encontra no estado termodinâmico de vapor saturado, o modo de aumentar a sua temperatura para um nível superior à do meio ambiente, consiste em comprimi-lo, com o consequente aumento de pressão e de temperatura. Então, através de um condensador (permutador de calor) pode ceder o calor latente de vaporização ao meio ambiente. Com este processo, obtém-se o líquido pretendido à entrada do evaporador, sendo a temperatura de condensação a correspondente à pressão final do processo de compressão e não a temperatura original, baixa. Para se provocar a queda de pressão e de temperatura do fluido frigorigéneo para o valor inicial, apenas é necessário expandi-lo entre o condensador e o evaporador, o que pode ser conseguido com um sistema de expansão [2].

Fica assim concluído o ciclo frigorífico básico, sendo visível um esquema representativo na Figura 2.

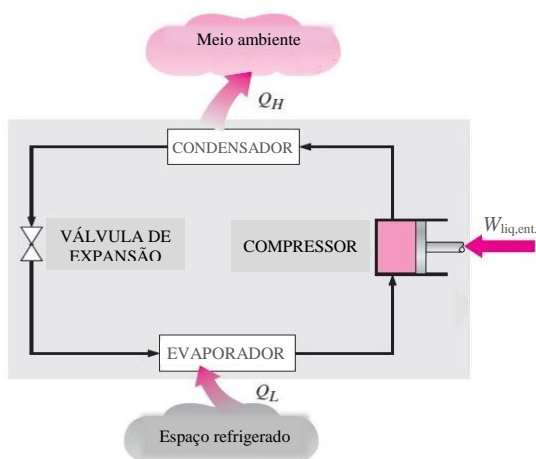


Figura 2 – Ciclo Frigorífico Básico. Adaptado de [1]

2.2.5 Sistemas de Refrigeração

Na Figura 2, é evidenciado um exemplo de um ciclo frigorífico, no entanto, existem muitos outros ciclos e sistemas frigoríficos. Desse modo, é demonstrado na Tabela 1, a classificação dos sistemas de refrigeração de acordo com o seu modo de operação, sendo assim visível os ciclos frigoríficos existentes no mercado.

Tabela 1 – Classificação dos Sistemas de Refrigeração. Adaptado de [2]

Sistemas de Refrigeração	Operados eletricamente	Vapor
		CO ₂
		Ar
		Termoelétrico
	Operados termicamente	Absorção
		Adsorção
		Vapor com Máquinas Elétricas
		Dessecantes
		Ejetor
	Híbridos	Calor e eletricidade
		Solar e biomassa
		Solar e gás
		Solar, biomassa e diesel
		Química e térmica

Serão agora descritos os ciclos mais usados no mercado: o de compressão a vapor e o de absorção.

2.2.6 Ciclo de Compressão a Vapor

Em primeiro lugar, é necessário fazer referência ao Ciclo de Carnot, que é o ciclo que serve de base a todos os sistemas frigoríficos [1].

O ciclo de Carnot é um ciclo totalmente reversível, que consiste em dois processos isotérmicos e dois processos isentrópicos. Os seus quatro componentes são: a turbina, o evaporador, o compressor e o condensador. É um ciclo teórico e o seu rendimento é o máximo que uma máquina térmica, trabalhando com uma diferença de temperaturas entre a fonte quente e a fria, pode obter [1].

Não pode ser implementado pelas seguintes razões [1]:

- Dificuldade em fazer a expansão de um fluido com duas fases, sendo, ainda, o trabalho de expansão na turbina pequeno, em comparação com o que é necessário ao acionamento do compressor;
- Dificuldade em efetuar uma compressão húmida, visto que pode danificar o compressor, sendo assim necessário que a compressão seja seca;
- Para que haja transferência de calor é necessário uma diferença finita de temperaturas, deixando então os processos de serem reversíveis.

Muitas das impraticabilidades associadas ao ciclo Carnot reversível podem ser eliminadas, vaporizando-se completamente o fluido frigorígeno antes de ser comprimido e substituindo a turbina por um dispositivo de estrangulamento, surgindo assim o Ciclo de Compressão a Vapor [1].

Este consiste em 4 processos, visíveis na Figura 3 (página 11) [1]:

- Compressão isentrópica no compressor, 1-2;
- Rejeição de calor a pressão constante no condensador, 2-3;
- Estrangulamento no dispositivo de expansão, 3-4;
- Absorção de calor a pressão constante no evaporador, 4-1.

Ao contrário do ciclo de Carnot, o ciclo ideal de refrigeração de compressão a vapor não é um ciclo internamente reversível, uma vez que envolve um processo irreversível, o estrangulamento. Se o dispositivo de expansão fosse substituído por uma turbina isentrópica, o fluido frigorígeno entraria no evaporador no estado 4' em vez do estado 4, tal como demonstrado na Figura 3. Como resultado, a capacidade do fluido frigorígeno aumentaria (pelo valor da área abaixo da curva do processo 4' – 4) e o trabalho de entrada líquido diminuiria (pelo montante de trabalho de saída da turbina). No entanto, substituir a válvula de expansão por uma turbina não é prático, uma vez que os benefícios adicionais não justificam o custo e a complexidade adicional [1].

Num ciclo ideal de compressão a vapor, o fluido frigorígeno entra no compressor, estado 1 da Figura 3, como vapor saturado e é comprimido isentropicamente até à pressão de

condensação aumentando a temperatura do fluido bem acima da temperatura do meio envolvente. No entanto, no processo de compressão real, existem efeitos de atrito, o que diminui a entropia e a transferência de calor, podendo aumentar ou diminuir a entropia, dependendo da direção. Sendo assim, durante esse processo, a entropia do fluido frigorígeno pode aumentar, processo 1 – 2 da Figura 4 (página 11), ou diminuir, processo 1 – 2' da mesma Figura, dependendo de qual dos efeitos a dominar. O processo de compressão 1 – 2' pode ser ainda mais desejável que o processo de compressão isentrópica, uma vez que o volume específico do fluido frigorígeno e, conseqüentemente, o trabalho de entrada requerido são menores neste caso. Conclui-se então que o fluido frigorígeno deve ser arrefecido durante o processo de compressão, sempre que seja prático e económico fazê-lo [1].

O fluido frigorígeno entra, depois, no condensador como vapor sobreaquecido, estado 2 da Figura 3, e sai como líquido saturado, estado 3 da Figura 3, como resultado da rejeição de calor para o meio envolvente mas, na realidade, é inevitável que exista alguma queda de pressão no condensador, bem como nas linhas de ligação entre o condensador e o compressor e até à válvula de expansão. Além disso, não é fácil de executar o processo de condensação com precisão tal que o fluido esteja no estado de líquido saturado ao sair do condensador, e é indesejável conduzi-lo até à válvula de expansão antes de estar completamente condensado. Deste modo, o fluido é subarrefecido um pouco antes de entrar na válvula de expansão. Este subarrefecimento pode ser vantajoso, uma vez que o fluido frigorígeno entra no evaporador com uma entalpia mais baixa e, por isso, pode absorver mais calor a partir do espaço refrigerado [1].

O fluido é depois estrangulado até à pressão de evaporação passando por um sistema de expansão, baixando a temperatura deste para nível inferior ao da temperatura do espaço refrigerado [1].

O fluido entra depois no evaporador, estado 4 da Figura 3, como uma mistura saturada de baixa qualidade e evapora completamente ao absorver calor do espaço refrigerado. A válvula de expansão e o evaporador, geralmente, estão localizados muito próximos uns dos outros, de modo que a queda de pressão na linha de ligação seja pequena [1].

O fluido deixa o evaporador como vapor saturado e reentra no compressor, completando o ciclo. Na prática, contudo, pode não ser possível controlar o estado do fluido frigorígeno com tanta precisão, isto é, deixar o evaporador como vapor saturado. Em vez disso, é mais fácil conceber o sistema de modo a que o fluido frigorígeno esteja ligeiramente sobreaquecido na entrada do compressor. Este ligeiro sobreaquecimento assegura que o fluido frigorígeno está completamente vaporizado, quando entra no compressor. Além disso, a linha que liga o evaporador ao compressor é normalmente muito longa e, assim, a queda de pressão provocada pelo atrito do fluido e pela transferência de calor para o ambiente pode ser muito significativa. O resultado do sobreaquecimento, do ganho de calor na linha de ligação e das quedas de pressão no evaporador e a linha de ligação representam um aumento do volume específico e, assim, um aumento nos requisitos de energia de entrada do compressor [1].

A área abaixo da curva do processo no diagrama $T-s$, Figura 3, representa a transferência de calor por processos internamente reversíveis. A área abaixo da curva do processo 4 – 1 representa o calor absorvido pelo fluido frigorígeno no evaporador e a área abaixo da curva do processo 2 – 3 representa o calor rejeitado no condensador [1].

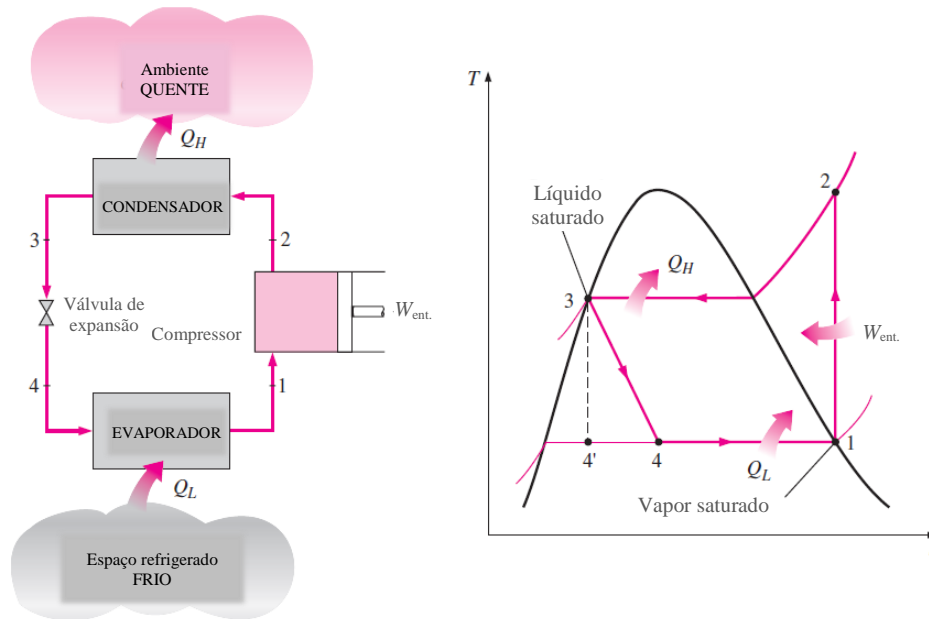


Figura 3 – Esquema Representativo do Ciclo de Compressão a Vapor Ideal e Diagrama T-s correspondente. Adaptado de [1]

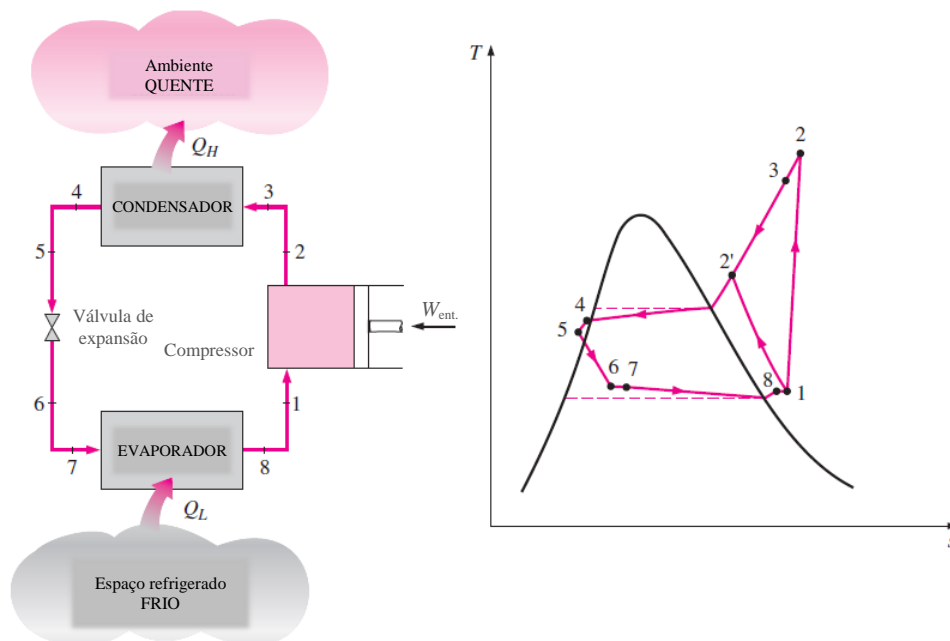


Figura 4 – Esquema Representativo do Ciclo de Compressão a Vapor Real e Diagrama T-s correspondente. Adaptado de [1]

Todos os quatro componentes associados ao ciclo de compressão a vapor são dispositivos de fluxo contínuo e, assim, todos os quatro processos que constituem o ciclo podem ser analisados como processos de fluxo contínuo. As mudanças de energia cinética e potencial do fluido frigorigéneo são pequenas em relação aos termos de transferência de calor e de trabalho, e, por isso, podem ser desprezadas [1].

O condensador e o evaporador não envolvem nenhum trabalho e o compressor pode ser considerado, aproximadamente, como adiabático. Assim, o COP pode ser descrito pela equação 2.3 [1]:

$$COP = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}} = \frac{\dot{m} \cdot (h_1 - h_4)}{\dot{m} \cdot (h_2 - h_1)} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} \quad (2.3)$$

onde $h_1 = h_g$ à pressão P_1 e $h_3 = h_f$ à pressão P_3 para o caso ideal.

O balanço de energia do ciclo de refrigeração é feito considerando-se o sistema operando em regime permanente nas condições de projeto, ou seja, à temperatura de condensação, T_H , e à temperatura de vaporização, T_L . Os sistemas reais e teóricos têm comportamentos idênticos, tendo o ciclo real um desempenho pior. A análise do ciclo teórico permitirá, de forma simplificada, verificar quais os parâmetros que têm influência no desempenho do ciclo [3].

A capacidade frigorífica, \dot{Q}_L , é a quantidade de calor, por unidade de tempo, retirada do meio que se quer arrefecer, através do evaporador do sistema frigorífico. Este processo está indicado na Figura 5 [3].

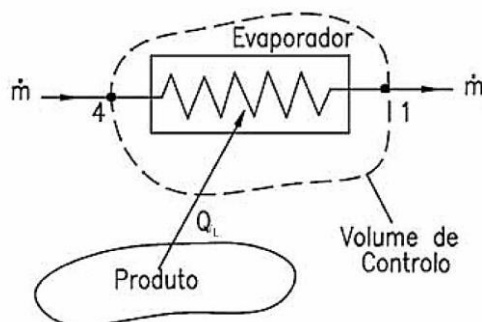


Figura 5 – Esquema Representativo do Processo de Absorção de Calor pelo Evaporador. Adaptado de [3]

Considerando-se que o sistema opera em regime permanente e, desprezando-se as variações de energia cinética e potencial, pela Primeira Lei da Termodinâmica, tem-se a equação 2.4 [3]:

$$\dot{Q}_L = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4) \quad (2.4)$$

A potência teórica de compressão é a quantidade de energia, por unidade de tempo, que deve ser fornecida ao fluido frigorígeno, no compressor, para se obter a elevação de pressão e temperatura necessárias do ciclo teórico. Neste ciclo, o processo de compressão é adiabático reversível (isentrópico). No sistema de refrigeração real, o compressor perde calor para o meio ambiente. No entanto, este calor é pequeno quando comparado à energia necessária para realizar o processo de compressão. Aplicando-se a Primeira Lei da Termodinâmica, em

regime permanente, no volume de controlo da Figura 6 e desprezando-se a variação de energia cinética e potencial, tem-se equação 2.5 [3]:

$$\dot{W} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) \quad (2.5)$$

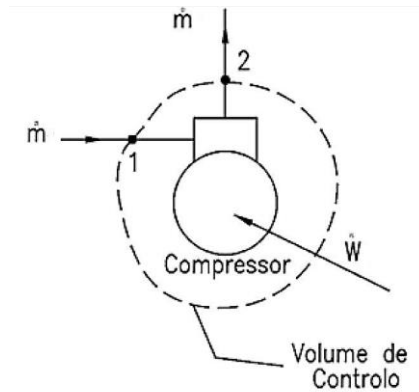


Figura 6 – Esquema Representativo do Processo de Compressão. Adaptado de [3]

Conforme mencionado, a função do condensador é rejeitar calor do fluido frigorigéneo para o meio de arrefecimento do condensador. Este fluxo de calor pode ser determinado por meio de um balanço de energia no volume de controlo da Figura 7.

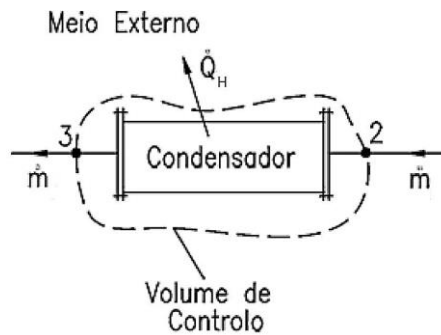


Figura 7 – Esquema Representativo da Rejeição de Calor no Condensador. Adaptado de [3]

Considerando o regime permanente, tem-se a equação 2.6 [3]:

$$\dot{Q}_H = \dot{m} \cdot (h_2 - h_3) \quad (2.6)$$

No dispositivo de expansão, o processo teórico é adiabático, ver Figura 8.

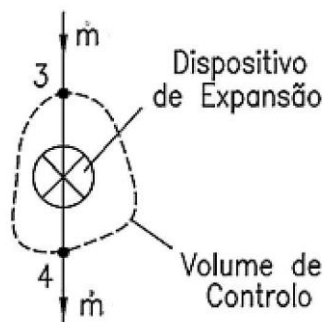


Figura 8 – Esquema Representativo do Processo de Expansão. Adaptado de [3]

Neste caso, aplicando-se a Primeira Lei da Termodinâmica, em regime permanente, e desprezando-se as variações de energia cinética e potencial, tem-se a equação 2.7 [3]:

$$h_3 = h_4 \quad (2.7)$$

2.2.7 Ciclo de Absorção

O ciclo de absorção apresenta três elementos idênticos ao ciclo de compressão a vapor, nomeadamente o condensador, o sistema de expansão e o evaporador, diferindo no processo em como o fluido frigorigéneo é comprimido entre o evaporador e o condensador. Neste ciclo, em vez do compressor, é usado um conjunto designado por compressor térmico, formado por um absorvedor, uma bomba, um gerador e uma válvula de laminagem [2].

Para a operação deste ciclo é necessário um fluido auxiliar, o absorvente, que tem a capacidade de absorver outros fluidos formando uma solução homogênea. A absorção ocorre a baixas temperaturas e a separação dos fluidos ocorre a altas temperaturas [2].

O ciclo é constituído pelos seguintes processos [2]:

- 4 – 5: Fluido frigorigéneo no estado de vapor vindo do evaporador, a baixa pressão, que é absorvido no absorvedor pela solução proveniente do ponto 8 da Figura 9;
- 5 – 6: A solução líquida formada no processo 4-5 é bombeada para o gerador que se encontra à pressão de condensação do ciclo, pressão alta;
- 6 – 1: Neste processo ocorre uma destilação, onde se fornece calor ao gerador para libertar o vapor de fluido frigorigéneo previamente absorvido no absorvedor. Esta separação ocorre pois o fluido frigorigéneo é mais volátil que o absorvente;
- 7 – 8: A solução remanescente no gerador, e que vai para o absorvedor, é expandida neste processo de modo a que a sua pressão se reduza para a reinante no evaporador;
- 1 – 2: Cedência de calor no condensador;
- 2 – 3: Expansão no sistema de expansão;
- 3 – 4: Absorção de calor no evaporador.

É possível constatar que neste ciclo se comprime líquido em vez de vapor, ao contrário do ciclo de compressão a vapor, e, deste modo, o trabalho de compressão é bastante inferior devido ao volume específico ser também inferior. No entanto, é necessário fornecer calor ao

gerador para o ciclo funcionar. Contudo, poder-se-ão usar, quando possível, efluentes industriais quentes, que são normalmente desperdiçados, ou ainda energia solar, tornando-se assim um ciclo economicamente atraente [2].

É mostrada, na Figura 9, um esquema representativo do ciclo de absorção.

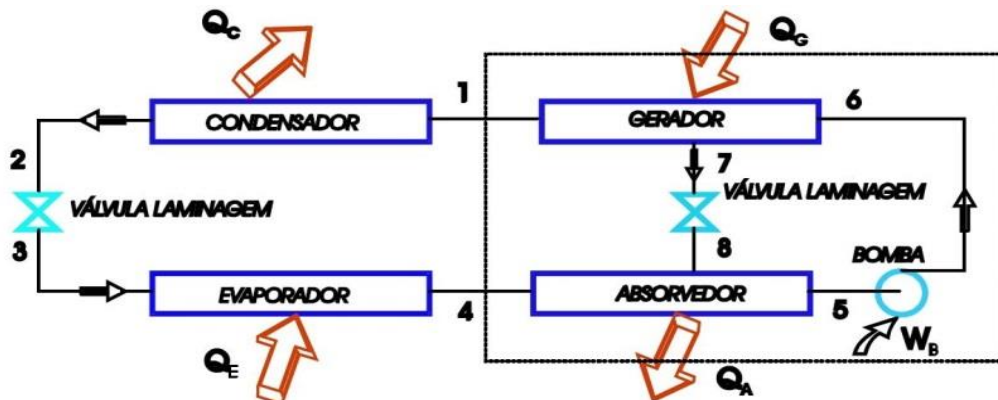


Figura 9 – Esquema Representativo do Ciclo de Absorção. Adaptado de [2]

2.2.8 Fluidos Frigorígeos

O fluido frigorígeno é a substância que atua como agente arrefecedor, com a finalidade de extrair calor de uma outra substância. Pode-se subentender como um fluido de trabalho que muda de fase durante a operação de um sistema frigorífico. O fluido tem de ser necessariamente volátil [2].

A Tabela 2 mostra a classificação dos fluidos frigorígeos de acordo com a sua origem e de acordo com o seu modo de extração de calor.

Tabela 2 – Classificação dos Fluidos Frigorígeos. Adaptado de [2]

Fluidos Frigorígeos	Origem	Sintéticos	Provêm da sintetização do metano ou do etano em que um ou mais átomos de hidrogénio são substituídos por átomos de cloro, fluor e/ou bromo.
		Naturais	_____
	Modo de extração de calor	Primários	Se o arrefecimento provocado no espaço a arrefecer for realizado através do calor latente de vaporização do fluido frigorígeno.
		Secundários	O fluido frigorígeno secundário é que provoca o arrefecimento do espaço a refrigerar sendo depois arrefecido no evaporador

2.2.9 Compressores

Os compressores aumentam a pressão e a temperatura do fluido frigorigéneo, a um nível suficientemente alto para permitir ao condensador realizar a sua função [2].

A Tabela 3 mostra os vários tipos de compressores, divididos em volumétricos e dinâmicos.

Tabela 3 – Tipos de Compressores. Adaptado de [2]

Volumétricos					Dinâmicos		
Alternativos		Rotativos	Parafuso	Scroll	Centrífugos		
Forma	Horizontal	Pistão	Mono parafuso				
	Vertical						
	V ou W						
Construção	Aberto					Alhetas	Duplo parafuso
	Semi-hermético						
	Hermético						
Número de efeitos	Simples	Axiais					
	Duplo						
Andares de compressão	1 Andar						
	2 Andares						

2.2.10 Sistemas de expansão

Os sistemas de expansão operam de forma oposta ao compressor, ou seja, provocam uma diminuição da pressão do fluido frigorigéneo, desde o condensador, pressão alta, até ao evaporador, pressão baixa. Têm como funções: a redução da pressão entre o circuito de alta e o de baixa pressão, para que a mudança de fase do fluido frigorigéneo no evaporador se processe a baixa temperatura e a regulação do caudal do mesmo no evaporador, de modo a que seja necessário vencer a carga térmica aí existente e que o caudal seja igual ao aspirado pelo compressor num determinado instante [2]. Existem vários tipos de sistemas de expansão, mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Tipos de Sistemas de Expansão. Adaptado de [2]

Sistemas de expansão					
Válvula de expansão manual	Flutuador	Válvula de expansão automática	Válvula de expansão termostática	Tubo capilar	Válvula de expansão eletrónica

2.2.11 Evaporadores

O evaporador é o componente onde existe o efeito frigorífico, isto é, onde o fluido frigorigéneo absorve o calor do espaço a refrigerar.

Existem, fundamentalmente, três tipos de evaporadores: os secos, os inundados e os de carcaça e tubos [2].

2.2.12 Condensadores

O condensador é o componente onde é rejeitado calor para o exterior.

De uma maneira geral, estes componentes são classificados de acordo com o fluido disponível para o seu arrefecimento. Existem quatro tipos de condensadores: a ar, a água, os evaporativos e os mistos [2].

2.2.13 Outros Componentes de Sistemas de Refrigeração

Nesta secção, serão apresentados alguns componentes de um sistema de refrigeração que, não sendo os principais, são essenciais para o funcionamento do sistema.

A **válvula solenoide** é uma válvula eletromagnética ON/OFF que controla o fluxo de fluido frigorigéneo em resposta a um sinal elétrico, normalmente proveniente de um termostato. Estão frequentemente disponíveis como normalmente fechada ou normalmente aberta [2].

O **termostato** é um interruptor que regula, de forma automática, o funcionamento do compressor, com a finalidade de manter a temperatura desejada no evaporador e na câmara frigorífica. Consoante a medição de variações de temperatura, fecham ou abrem os contactos elétricos de fornecimento de energia ao compressor. Podem ser, de acordo com o elemento de medição da temperatura, termostato com sensor de temperatura por bolbo, termostato bimetalico ou termostato eletrónico [2].

O **visor de líquido** tem como função uma visualização rápida do estado e do nível do fluido frigorígeno no sistema. Indica, ainda, a presença de humidade no fluido frigorígeno após a passagem deste pelo filtro secador, através da mudança de cor, da presença de gases incondensáveis, da falta de fluido frigorígeno ou da possível obstrução do filtro secador [4].

A **válvula de esfera** é uma válvula de fecho manual bidirecional de duas posições que permite controlar o fluxo de fluido frigorígeno. Permite isolar componentes para realizar um diagnóstico de sistema, sua substituição, ou, ainda, para a realização de medições [4].

O **filtro secador** permite filtrar impurezas, tais como água ou óxidos de metal, entre outros, que possam bloquear a válvula de expansão. Retém, ainda, a humidade que se possa formar na instalação e previne a formação de ácido a partir da água, do óleo, do fluido frigorígeno ou das altas temperaturas [4].

O **depósito de líquido** serve de depósito ao fluido frigorígeno, que condensa no condensador, armazenando-o. Permite que se tenha sempre líquido à entrada da válvula de expansão [2].

O **pressostato** é um interruptor elétrico comandado por pressão, sendo o seu ajuste feito por meio de um parafuso. Nalguns modelos, o diferencial de pressão (a diferença entre a pressão de desarme e rearme) é regulável [2].

Pode ser de controlo único: possibilita o controlo de baixa pressão, isto é, desliga quando a pressão de admissão do compressor diminuir abaixo de um determinado valor, ou de alta pressão, isto é, desliga quando a pressão de descarga do compressor se tornar maior que um determinado valor. Pode ser de controlo duplo: possibilita o controlo de baixa e de alta pressão, ambos integrados numa unidade única. Ainda pode ser diferencial: controla a pressão do óleo de lubrificação dos compressores, desligando quando a diferença entre a pressão de bomba e do cárter do compressor for insuficiente para uma lubrificação adequada [2].

O **separador de óleo** permite que o óleo de lubrificação do compressor seja devolvido diretamente para o cárter do mesmo. Desta forma, o óleo de lubrificação do compressor é impedido de circular com o fluido frigorígeno, no sistema de refrigeração. Previne a falha do compressor causada por falta de lubrificação, aumenta a vida útil do compressor, amortece as pulsações e os ruídos no lado de alta pressão do sistema e protege o sistema de refrigeração contra a acumulação de óleo em locais inadequados [4].

O **arrefecedor de óleo** é um permutador de calor arrefecido a água ou gás, destinado a arrefecer o óleo que está a ser utilizado pelo compressor. É utilizado se a temperatura de descarga do compressor for muito elevada, de modo a que as qualidades lubrificantes do óleo não sejam diminuídas [2].

O **regulador de pressão diferencial** é usado numa linha de gás quente, entre a linha de descarga e o tanque de líquido, para garantir que seja mantido um certo nível de pressão no tanque de líquido. A válvula abre-se conforme o aumento do diferencial de pressão entre a entrada e saída do fluxo [4].

O **regulador de pressão do cárter** protege o compressor contra a sobrecarga ocorrida durante a inicialização, após longos períodos de inatividade ou após períodos de degelo [4].

2.2.14 Cadeia de Frio

Os produtos perecíveis raramente são consumidos no momento da sua colheita ou abate, sendo necessário transportá-los para locais distantes da produção e escalonar as vendas no tempo, o que implica que tenham de ser conservados sem perda de qualidade [2].

Define-se, assim, cadeia de frio, ver Figura 10, ao conjunto de processos e de infraestruturas frigoríficas necessárias para assegurar um historial de baixas temperaturas a um dado produto, desde a produção ao seu consumo, de forma a preservar a sua qualidade. A cadeia de frio é, geralmente, composta por diversas etapas de armazenamento e de transporte de um produto até ao consumo final, podendo a temperatura variar de elo para elo, principalmente nos processos de carga e de descarga [2].

De um modo geral, após a produção, os produtos sofrem um primeiro tratamento pelo frio no próprio local, após o que são transportados para armazéns frigoríficos. Depois de um tempo de armazenamento, podem, ainda, passar por grossistas e retalhistas até que cheguem ao consumidor. Entre estes dois elos, existe também transporte, o mesmo acontecendo entre a aquisição dos produtos e o frigorífico doméstico. Pode ocorrer perda de qualidade de um produto, durante a cadeia de frio, sendo de realçar a verificada nos transportes.

A cadeia de frio não só é fundamental para produtos perecíveis, como também para outros bens vitais tais como sangue e vacinas [2].



Figura 10 – Esquema Representativo da Cadeia de Frio. Adaptado [2]

2.3 Estado da Refrigeração Comercial e Industrial

A Refrigeração compreende a congelação e a conservação, em lojas de retalho, supermercados e na indústria em geral, sendo por isso é um dos sectores de consumo de energia dos mais relevantes em termos de consumo de energia e de emissões de gases com efeito de estufa, relevância essa que tem vindo a aumentar [5].

As últimas pesquisas estão focadas na economia de energia, de modo a reduzir as emissões indiretas de CO₂, devido à queima de combustíveis fósseis. Estão, assim, focadas em modificações no sistema, como o subarrefecimento, a implementação de ejetores, as tecnologias de trigerção, que permitem obter eletricidade, aquecimento e arrefecimento em conjunto e um melhor controlo das condições de evaporação [5].

Os regulamentos mais recentes sobre o potencial de aquecimento global, que se destinam a reduzir as emissões elevadas de HFC (Hidrofluorcarbonetos), ditaram que os fluidos R404A e R507 vão ter de ser eliminados progressivamente. Além dos hidrocarbonetos, o CO₂ aparece como um dos fluidos mais promissores substitutos dos HFC, devido à sua baixa contribuição para o aquecimento global e à sua alta eficiência, quando utilizado em ciclo transcrito e no estágio de baixa pressão de sistemas em cascata [5].

Apesar de a tecnologia estar a evoluir lentamente, não tem sido suficiente de modo a ultrapassar as limitações existentes. São necessárias análises pormenorizadas de cada caso, de modo a identificar as melhores técnicas de poupança de energia. Deste modo, os retalhistas e os empresários devem integrar tecnologias e fluidos de trabalho mais eficientes nos seus sistemas [5].

2.4 Estado do Frio Industrial em Portugal

Nas últimas duas décadas, o sector industrial tem representado cerca de um terço do consumo final de energia no nosso país, sendo que a eletricidade e os combustíveis líquidos são as fontes mais utilizadas. No entanto, a quota de gás tem aumentado significativamente e a dos combustíveis líquidos, diminuído. Este facto, aliado ao aumento, ano após ano, do preço da energia e às crescentes preocupações com redução de custos energéticos e com as questões ambientais, torna essencial que exista uma melhoria da eficiência energética das instalações das indústrias [6].

Relativamente ao setor do frio industrial, a refrigeração representa um consumo de energia muito significativo, podendo mesmo atingir 90 % do total do mesmo, em alguns dos casos. No entanto, com investimentos que representam tipicamente um período de retorno do investimento aceitável, existem alternativas que podem permitir uma poupança de energia significativa, podendo representar até 20 % de redução. Para isso, é necessário a realização de auditorias energéticas que permitam encontrar medidas que possam aumentar a eficiência energética, reduzindo custos energéticos [7]. Estes dois temas, auditorias energéticas e eficiência energética, serão abordados em subcapítulos mais à frente.

2.5 Armazenamento do Frio

Os armazéns de frio são, normalmente, dimensionados caso a caso, sendo que as principais considerações do dimensionamento estão relacionadas com o tipo de pavimento e de cobertura, isolamento interior e o sistema de refrigeração. Esse sistema implica dimensionar o condensador, o compressor e o evaporador, determinando a potência, e controles de modo a manter uma operação eficiente do sistema. Isolamentos interiores melhorados reduzem a carga dos equipamentos relativos à refrigeração e ajudam a manter a temperatura, mesmo existindo flutuações de temperatura no armazém [8].

As várias áreas dos armazéns de frio requerem diferentes níveis de isolamento. As áreas de congelação requerem mais isolamento, onde as paredes têm uma construção típica de 0,13 ou 0,15 metros de espessura de painéis de uretano revestidos com metal. Os pavimentos são construídos a partir de tubos de glicol colocados no subsolo, cobertos com uma espessura de 0,1 metros de estireno rígido, que, por sua vez, está coberto com uma espessura de 0,15 metros de concreto reforçado. As coberturas são, tipicamente, isoladas com uma espessura de 0,13 de isocianurato [8].

Nas áreas de refrigeração, é necessário menos isolamento. As coberturas são tipicamente construídas em contraplacado de madeira com um revestimento de 0,1 metros de uretano. As paredes são compostas por 0,1 a 0,13 metros de painéis de uretano revestidos com metal ou painéis de concreto prensado. Os pavimentos são tipicamente feitos em concreto [8].

Em relação às portas de cais, estas podem criar um aumento significativo das necessidades de energia devido a infiltrações de ar vindo do exterior, isto se as suas aberturas não forem devidamente controladas. Caso contrário, esse ar pode entrar nas áreas de congelação e refrigeração provocando um maior esforço no compressor. Controlar a abertura destas portas e remover o ar vindo do exterior antes que este entre nas áreas de congelação e de refrigeração pode resultar numa poupança significativa de energia em armazéns frigoríficos [8].

Quanto aos valores típicos de temperaturas interiores das câmaras de refrigeração, para o setor de carne, variam entre 0 e 3,9 °C, enquanto nas câmaras de congelação variam entre -5,6 e -17,8 °C [8].

Se fossem postos em prática, nos armazéns frigoríficos da Califórnia, isolamentos eficientes e especificações adequados de controlo, o consumo de energia seria reduzido em 15,6 GWh por ano. A carga elétrica desses armazéns é cerca de 360 MW, com um volume total de 12 milhões de metros cúbicos, o que dá um rácio de 30 W/m³, sendo que a redução da procura seria de 3,7 a 7,3 W/m³ [8].

2.6 Uso de Energia e Poupanças na Refrigeração

Neste subcapítulo, será abordado o uso da energia numa empresa que tenha um sistema de refrigeração, bem como poupanças no consumo elétrico em vários componentes, através da implementação de tecnologias inovadoras e modernas.

2.6.1 Distribuição dos Consumos numa Empresa com Sistema de Frio

É importante conhecer qual a fatia do consumo que a refrigeração ocupa numa empresa que tenha um sistema de frio.

A Figura 11 mostra a distribuição típica dos consumos energéticos num armazém frigorífico típico. Verifica-se que o consumo de eletricidade relativo ao frio, que neste gráfico é a refrigeração e a descongelação elétrica em conjunto, é de 75 % do total do consumo da empresa. Desta forma, é possível verificar que qualquer redução do consumo relativo ao frio, por mais pequena que seja, terá um grande impacto na redução do consumo final de eletricidade [8].

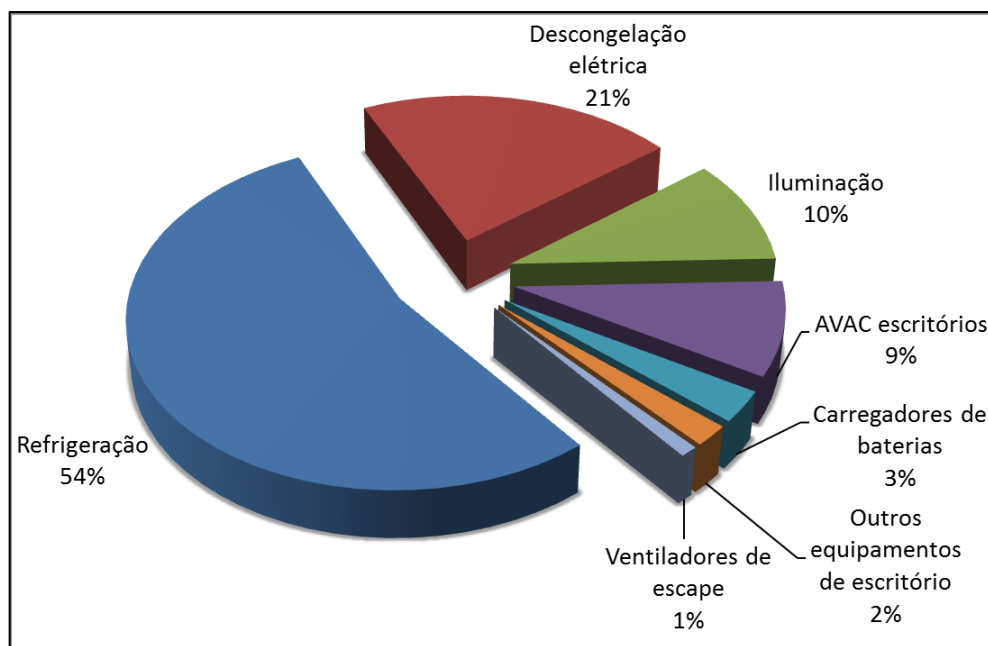


Figura 11 – Distribuição dos Consumos Energéticos de um Armazém de Refrigeração. Adaptado de [8]

2.6.2 Compressores

Os compressores ocupam cerca de 70 % da energia total requerida por um sistema de refrigeração. O principal método usado para ajustar a carga de refrigeração é através da paragem, arranque ou descarga do compressor. De um modo geral, um termostato ou um pressostato são usados para controlar a operação do compressor. No entanto, estes por vezes usam modos de controlo que são ineficientes, tais como controlo por pressostatos ou controlos manuais [8].

Deste modo, existem tecnologias emergentes, no que toca aos compressores, que permitem poupanças significativas.

Uma delas consiste em ter a velocidade de rotação variável, através da variação da frequência aplicada ao compressor, permitindo acompanhar variações da temperatura nas câmaras frigoríficas. Segundo a *Embraco®*, compressores alternativos herméticos com esta tecnologia,

quando comparados com o mesmo tipo tradicional, que funcionam com ciclos de *on* e *off*, permitem poupanças no consumo até cerca de 45 %. Além disso, permitem uma redução considerável do ruído durante o seu funcionamento, minimizam os períodos de paragem e protegem contra a sobrecarga do compressor [9].

Os compressores com velocidade variável oferecem um controlo contínuo, um baixo nível de ruído, vibrações reduzidas, baixa corrente de arranque, um controlo rápido da temperatura, operando o compressor a altas velocidades, inicialmente, e melhores valores de COP do que a os modelos convencionais com ciclos de *on* e *off*. Testes feitos com compressores acionados por inversor mostram que as perdas induzidas pelo mesmo são desprezáveis [10].

Um sistema de refrigeração com um compressor de velocidade variável consome menos 15% de energia da que um sistema de refrigeração equivalente convencional e leva a que os perfis de temperatura dentro dos espaços sejam mais estáveis [11].

Outra tecnologia consiste na utilização de um compressor com, pelo menos, 4 cilindros e fazer o ajuste a capacidade do compressor, utilizando cilindros sem carga. Isto é, possibilita que, num compressor de por exemplo 8 cilindros, sejam utilizados 2, 4 ou 6 cilindros, ou seja, o compressor pode trabalhar a 25, 50 ou 75 % da sua capacidade. Isto permite que o sistema consiga corresponder a cargas térmicas variáveis, evitando ciclos de arranque e de paragem, que desgastam o motor, diminuindo o tempo de vida útil do mesmo [2].

Ainda é possível fazer-se uma compressão por andares.

Neste caso, em vez de o processo ser realizado de uma só vez entre a pressão mínima (de evaporação) e a máxima (de condensação) do ciclo, é fracionado por uma ou várias pressões intermédias, fazendo-se, para tal, recurso a vários compressores [2].

Se apenas existir um compressor, o processo de compressão é representado pela curva 1-3. No entanto, se a compressão for fracionada por vários compressores e se entre eles existir arrefecimento intermédio do fluido frigorigéneo, através de um permutador de calor, obter-se-ia uma curva de compressão, conforme indicada na figura, curva 1-2 e 4-5, para o caso de haver apenas dois andares de compressão. O processo 2-4 é relativo ao arrefecimento no permutador de calor [2]

Verifica-se, então, que o trabalho de compressão é menor no segundo caso. Enquanto a evolução 1-2 é comum aos dois casos, verifica-se que a diferença entre a entalpia no ponto 5 e a entalpia no ponto 4 é menor do que a diferença de entalpias entre o ponto 3 e 2. Verifica-se, também, que a temperatura máxima atingida pelo fluido, à saída do segundo compressor, é menor no segundo caso. É importante notar que se não existisse arrefecimento do fluido, antes da entrada no segundo compressor, não existiria nenhuma poupança de energia, o estado 4 seria coincidente com o estado 2 e, assim, o processo no segundo compressor seria 2-3, o que, no global, levaria à situação de apenas um compressor [2].

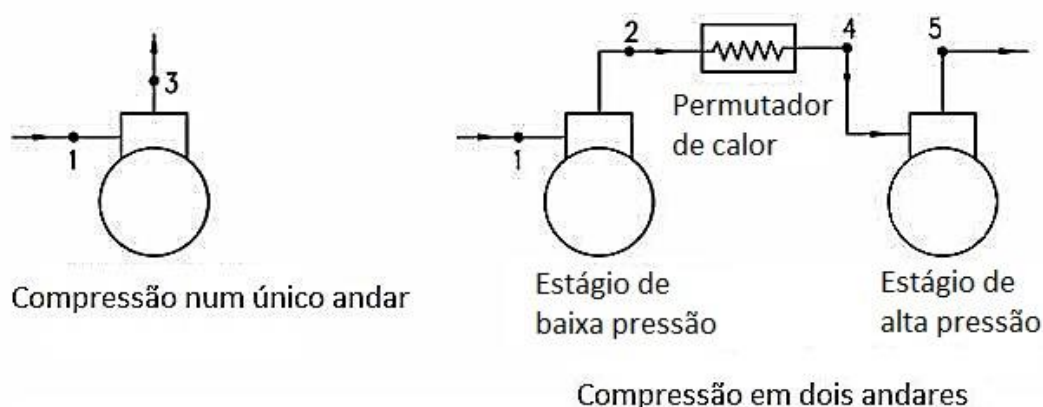


Figura 12 – Comparação entre Compressão num e em dois Andares de Compressão. Adaptado de [3]

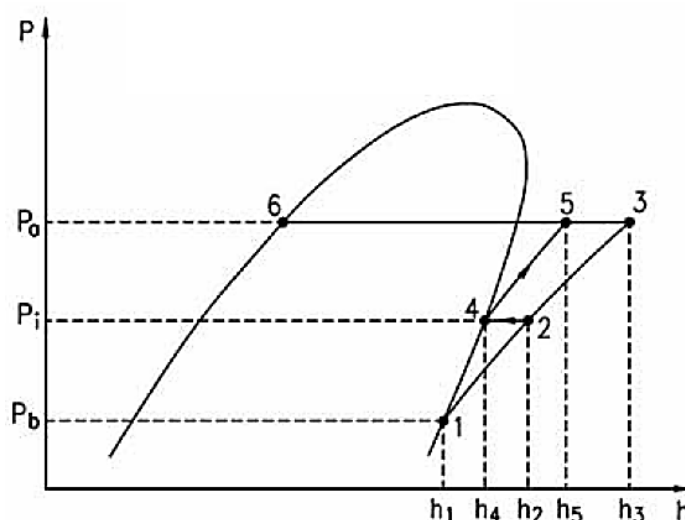


Figura 13 – Diagrama $P-h$ Comparativo entre um Sistema de Compressão num e em dois Andares. Adaptado de [3]

2.6.3 Condensador

Monitorizando continuamente a temperatura ambiente e a humidade relativa, consegue-se determinar a temperatura de bolbo húmido, que é usada para definir o “set-point” da pressão de descarga. Para manter o controlo ideal da capacidade do condensador, poderiam ser usados motores de ventiladores com controlo de duas velocidades ou tecnologia de velocidade variável. Operar os motores dos condensadores a velocidades baixas faz com que seja usada toda a superfície da tubagem para a transferência de calor, o que permite uma operação mais eficiente ao contrário dos motores *on/off*. Motores com velocidade variável permitem que os condensadores operem a capacidade reduzida, durante uma situação de baixa necessidade de carga [8].

Segundo foi apurado, o COP de um chiller pode aumentar entre 4 e 127,5 %, quando são usados variadores de velocidade dos ventiladores em conjunto com um controlo da temperatura de condensação, poupando HK\$ 522.648 por ano, para o caso estudado [12].

Uma tecnologia emergente é a variação da velocidade dos motores dos condensadores por variação da tensão de saída fornecida, controlada por mudanças do valor da pressão da condensação. De um modo muito simplificado, consiste num variador proporcional que, à medida que a pressão de condensação baixa, a tensão de saída fornecida ao equipamento é também diminuída. Nalguns modelos das marcas que possuem estes equipamentos, os motores são desligados quando se atinge um certo valor de pressão de condensação, correspondente a 50 % da tensão de saída. No entanto, existem alguns modelos que, quando se chega a esse valor, em vez de fazerem o corte de tensão, mantêm os motores a funcionar nesses 50 %. Este segundo modelo pode ser ainda mais vantajoso do que o primeiro, visto que no primeiro, o não funcionamento dos motores, pode levar a que, encontrando-se o ar junto às alhetas do condensador parado, mesmo existindo uma diferença de temperaturas, não exista um arrefecimento suficiente do fluido frigorigéneo, levando ao arranque do compressor, gastando, assim, mais energia do que a que estaria a ser poupada por este equipamento, situação que está menos suscetível de acontecer neste segundo caso. Existem ainda alguns modelos que vão ainda mais longe, indo até 20 % ou 30 % da tensão de saída, solução ainda mais vantajosa [13].

Estes equipamentos permitem, assim, que os motores não trabalhem apenas a 0 ou a 100 %, evitando tantos ciclos de *on* e *off*, que reduzem o tempo de vida útil dos equipamentos, trabalhando, assim, com uma menor capacidade, situação que neste equipamento não acontece. Permite ainda ligar mais de que um motor ao mesmo equipamento.

2.6.4 Evaporador

O controlo por ciclos, por duas velocidades ou por velocidade variável nos ventiladores dos evaporadores pode reduzir a energia usada em 25 a 50 %, diminuindo a necessidade geral de energia da empresa. O controlo por velocidade variável, através da variação da frequência, fornece também um controlo da temperatura mais estável, evitando assim perda de humidade no espaço refrigerado e mantendo a qualidade dos produtos aí armazenados. No entanto, este funcionamento irá resultar em velocidades do ar inferiores e, desse modo, deve existir controlo de modo a assegurar que isso não irá resultar em zonas mais quentes nas câmaras e temperaturas mais altas dos produtos. Tal como nos condensadores, nos evaporadores também irá originar uma poupança de energia. Muitos condensadores e evaporadores usam sistemas de controlo de apenas duas velocidades, que podem não ser capazes de atingir os mesmos níveis de poupança dos variadores de frequência, no entanto, são mais eficientes que ventiladores de apenas uma velocidade [8].

Uma unidade de velocidade variável é um conversor eletrónico de potência, que gera uma frequência de saída multi-fase variável, podendo ser usada para acionar um motor de indução de corrente alternada e para modular e controlar a velocidade, binário e potência mecânica de saída do motor. Estas unidades oferecem uma poupança significativa da fatura anual e uma redução de emissões. Por exemplo, no Reino Unido, a fábrica de alimentos Northern Foods alcançou uma poupança anual de energia de 769 MWh/ano, poupando mais de 30.000 £ em custos com eletricidade, com um período de retorno de apenas 10 meses e uma redução anual de 338 toneladas de CO₂. Em termos de benefícios do ponto de vista mecânico, os

rolamentos, se funcionarem a velocidades reduzidas, tendem a durar mais tempo do que os que funcionam sempre à velocidade máxima. Além disso, está inerente a este equipamento um arranque suave, que aumenta o tempo de vida útil do motor e dos rolamentos e reduz o desgaste da correia. Relativamente ao tempo de retorno do investimento, este é cerca de um terço do seu tempo de vida útil, que é, em média, de 20 anos [14].

2.6.5 Sistema de Expansão

Uma tecnologia emergente no sistema de expansão de um sistema de frio é a válvula de expansão eletrónica. Estas válvulas são mais eficientes e mais facilmente ajustáveis do que as válvulas termostáticas. Ao contrário destas, as eletrónicas não requerem uma elevada pressão de condensação e, portanto, permitem uma operação a uma temperatura e pressão de condensação mais baixas, o que resulta numa utilização de energia menor a capacidades mais elevadas. Controlam o caudal de fluido frigorígeno através da monitorização da pressão e da temperatura, à saída do evaporador. Os dois sinais são recebidos por um regulador que controla, em tempo real, a abertura da válvula, permitindo uma compensação imediata das mudanças súbitas de carga térmica dentro das câmaras frigoríficas [15].

A válvula de expansão eletrónica permitiu obter poupanças no consumo elétrico de 8,6 a 34,3% [15].

Foi também analisada, através de uma simulação, a potencial poupança no consumo de eletricidade em três climas diferentes (Copenhaga, Trappes e Crotona), sendo que em Copenhaga foi onde se obteve maiores poupanças, sendo maiores no inverno chegando quase a 30% [15].

No que diz respeito ao tempo de retorno do investimento, foram analisadas três variáveis: o preço da energia, o valor do investimento e a taxa de juro. Em todas elas, o tempo de retorno é pequeno, sendo sempre inferior em Copenhaga. No entanto, numa análise para um caso base, o tempo de retorno é de 1,4 anos em Copenhaga, 1,6 em Trappes e 3,1 em Crotona [15].

A inclusão de um ejetor, em vez de uma válvula de expansão, também pode resultar num aumento da eficiência energética, quando comparado com o ciclo básico, com a vantagem da sua simplicidade de construção, de instalação e de manutenção [5].

Ersoy e Sag quantificaram um incremento entre 6,2 e 14,5 % do valor do COP, num sistema com o R134A, com a inclusão de um ejetor. Num sistema de dois estágios ejetor-vapor com R404A, resultou um aumento de 6,6 % no valor do COP quando comparado com o tradicional [5].

2.6.6 Isolamento

As cargas de arrefecimento em câmaras frigoríficas podem ser reduzidas através do aumento ou da melhoria do isolamento das câmaras, quer nas paredes, pavimentos ou coberturas, quer também nas tubagens do circuito, uma vez que permitem reduzir as perdas de calor. Podem ainda ser reduzidas através de portas de acesso rápido como portas bi-partidas, portas *roll-up* ou portas de correr horizontais, que são abertas em segundos e controladas por circuitos magnéticos de deteção no chão, detetores de movimento óticos, entre outros, pois permitem

reduzir a entrada de ar na câmara e consequente ganho de calor. Permitem, assim, poupar uma quantidade de energia significativa, quando comparadas com portas manuais [8].

Outra tecnologia emergente no que respeita ao isolamento das câmaras frigoríficas é o painel de isolamento em vácuo (VIP – *Vacuum insulation panels*). Este isolamento é composto por painéis microporosos, de alta performance, cobertos por uma camada externa impermeável, que é selada sob vácuo, de modo a otimizar o desempenho térmico [16].

É um isolamento não inflamável e pode ser aplicado em pavimentos, coberturas, portas, entre outros. Na Tabela 5, encontram-se discriminados os valores da condutibilidade térmica e da resistência térmica com uma espessura de 20 mm de vários isolamentos, incluindo o VIP. Verifica-se que este isolamento é o mais eficiente, quando comparado com os outros presentes no mercado. Isto pode ser comprovado observando que, para um valor de coeficiente de transferência de calor U de $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, o isolamento VIP precisa de uma espessura de apenas 35 mm, enquanto o poliuretano precisa de 125mm, a lã mineral de 190mm e a lã de vidro de 225 mm [16].

No entanto, este isolamento é ainda dispendioso quando comparado com os restantes. Não obstante, no futuro, é expectável que seja economicamente viável.

Tabela 5 – Condutibilidade e Resistência Térmica com $e=20\text{mm}$ de Vários Isolamentos. Adaptado de [16]

<i>Isolamento</i>	<i>Condutibilidade térmica [W/(m.K)]</i>	<i>Resistência térmica $e=20 \text{ mm}$ [(m².K)/W]</i>
VIP	0,004	4,8
Lã de vidro	0,045	0,5
EPS	0,040	0,6
Lã mineral	0,038	-
Poliuretano	0,025	0,9

2.6.7 Descongelamento

Controlos avançados de descongelamento permitem que o mesmo ocorra nas serpentinas do evaporador, sempre que necessário, indicado por uma temperatura previamente estabelecida, quando está perto de ser atingida, em vez de usar um horário pré-estabelecido de descongelamento. Esta estratégia reduz o uso de energia no descongelamento e previne descongelamentos desnecessários, que podem afetar a qualidade dos produtos do espaço refrigerado. Além disso, em vez de se usar resistências elétricas, é possível adicionar uma válvula inversora do ciclo ao condensador, em conjunto com um sistema de controlo eletrónico, que pode inverter o fluxo do fluido frigorigéneo durante o descongelamento. Assim, o fluido a altas temperaturas passa no evaporador resultando numa menor formação de gelo do que utilizando as resistências elétricas. Esta tecnologia, conhecida por descongelamento por gás quente, pode obter poupanças no descongelamento até 80 % [8].

2.6.8 Sensores de Temperatura

Uma nova tecnologia no que se refere aos sensores de temperatura é o *eCube®*, que consiste num simulador da inércia térmica dos alimentos e, essencialmente, num dispositivo de observação e de controlo da temperatura automatizado, permitindo uma leitura correta da temperatura [17].

Normalmente, os sensores de temperatura são usados para monitorizar e controlar a refrigeração, medindo a temperatura do ar circundante. No entanto, esta varia drasticamente e os sensores dão uma indicação deficiente da temperatura real dos alimentos. O *eCube®* funciona simulando a temperatura dos mesmos, isto é, contém um gel simulador da inércia térmica dos alimentos. As sondas de controlo da temperatura dos dispositivos de refrigeração e de congelação são introduzidos no *eCube®*, ficando em contacto com o gel, fornecendo, desta forma, a temperatura do gel, que corresponde à temperatura simulada dos alimentos. Isto permite reduzir o número de ciclos dos equipamentos de refrigeração na ordem dos 60%, isto é, pode reduzir os ciclos de cerca de 12 por hora para cerca de 4, pois a leitura correta da temperatura a que os alimentos se encontram por parte deste equipamento, reduz a necessidade de arranque do sistema, dando origem a uma redução do consumo de energia elétrica, podendo chegar a uma poupança que varia entre os 10 e os 30%.

Apresenta como principais vantagens, além da poupança de energia elétrica, a estabilização das variações de temperatura, um menor uso e desgaste dos equipamentos e um aumento do tempo de vida dos mesmos, além de que possui financiamento que pode ir até 80 %, dependendo do potencial de poupança. O tempo médio de retorno do investimento é inferior a 5 meses por cada *eCube®* instalado [17].

2.6.9 Trigeração

Os supermercados e a indústria têm necessidades de eletricidade, aquecimento e arrefecimento. Estas podem ser fornecidas em conjunto, poupando energia com um sistema de trigeração [5].

Num sistema de trigeração, usando uma microturbina, pode ser gerado mais de 90% da eletricidade requerida ao consumir, muito mais gás para satisfazer as necessidades de aquecimento e de arrefecimento. Numa formulação feita por Suamir et al, foram obtidas poupanças de 30% em combustível e 43% em emissões de CO₂, com um tempo de retorno de 3,2 anos. Noutro estudo, feito por Marimón et al, foram poupadas 22,7 toneladas de emissões de CO₂, com um tempo de retorno de 4,6 anos [5].

2.7 Sistemas Frigoríficos Emergentes

Existem, um pouco por todo o planeta, estudos sobre novos sistemas frigoríficos que possam reduzir impactos ambientais e reduzir custos energéticos associados aos mesmos.

Na Tabela 6, é apresentada uma revisão do estado atual dos sistemas frigoríficos emergentes, que têm o potencial de reduzir os impactos ambientais de refrigeração na indústria alimentar. Existe uma necessidade de pesquisa e de desenvolvimento, de modo a acelerar o desenvolvimento e a adoção destas tecnologias no setor alimentar [18].

Tabela 6 – Sistemas Frigoríficos Emergentes para Aplicações Alimentares. Adaptado de [18]

<i>Tecnologia</i>	<i>Estado de desenvolvimento</i>	<i>Capacidade refrigeração</i>	<i>COP</i>	<i>Áreas de aplicação atuais/potenciais</i>
Trigeração	- Disponíveis sistemas de larga capacidade por encomenda - Sistemas com capacidades menores em fase de P&D	12 kW – MW	Eficiência global do sistema: 65 – 90 % COP: 0,3 (-50 °C) e 0,5 (-12 °C)	- Processamento de comida; - Armazenamento de frio; - Retalho alimentar.
Ciclo a ar	- Disponíveis sistemas por encomenda.	11 kW – 700 kW	0,4 – 0,7	- Processamento de comida; - Transporte refrigerado.
Adsorção	- Disponíveis para aplicações de $a > 0$ °C - Sistemas para refrigeração em fase de P&D	35 kW – MW	0,4 – 0,7	- Processamento de comida; - Armazenamento de frio; - Retalho alimentar; - Transporte refrigerado.
Ejetor	- Disponíveis sistemas de ejedor a vapor por encomenda	Alguns kW até 60 MW	<0,3	- Processamento de comida; - Transporte refrigerado.
“Stirling”	- Disponíveis sistemas com capacidade pequena - Sistemas maiores em fase de P&D	15 – 300 W	1,0 – 3,0	- Frigoríficos domésticos; - Máquinas de venda automática; - Armários refrigerados.
Termoelétrico	- Disponíveis sistemas a baixo custo e baixa eficiência	Alguns Watts até 20 kW	0,6 (0 °C)	- Frigoríficos de minibar de quartos de hotel; - Frigoríficos para camiões; - Arrefecedores portáteis; - Arrefecedores de latas de bebida.
Termoacústico	- Em fase de P&D - Comercialização prevista: 5-10 anos	Alguns Watts até 1 kW	<1,0	- Frigoríficos domésticos e comerciais; - Congeladores; - Armários.
Magnético	- Em fase de P&D - Comercialização prevista: mais de 10 anos a partir de agora	<540 W	1,8 à temperatura do espaço	- Sistemas de baixa capacidade e de refrigeração móvel

2.7.1 Ciclo Transcrítico a CO₂

Um sistema frigorífico, cuja procura nos últimos anos tem aumentado consideravelmente, é o ciclo transcrítico a CO₂. Tem-se tornado um sistema interessante, devido ao CO₂ ser um fluido frigorigéneo natural, não contribuindo para o aquecimento global. Além disso, não é um potencial destruidor do ozono, não é inflamável, nem tóxico. No entanto, apresenta como desvantagem, uma alta pressão de trabalho [19].

A função do compressor, do evaporador e da válvula de expansão neste ciclo é a mesma de um sistema tradicional de compressão a vapor, que utilize qualquer outro fluido frigorigéneo. Assim, quando se comparam os ciclos transcríticos e os subcríticos, a diferença principal surge após o processo de compressão, onde, no sistema convencional, ocorre uma mudança de fase do fluido no condensador, ao passo que no ciclo transcrítico, o vapor altamente sobreaquecido é arrefecido a pressão constante, com a consequente alteração das propriedades termodinâmicas, nomeadamente a diminuição da temperatura. Este arrefecimento, sem mudança de fase, é realizado num arrefecedor de gás (*Gas Cooler*). Em termos de trocas energéticas, é um processo similar ao que ocorre no condensador, no entanto, no arrefecedor de gás a temperatura do CO₂ é mais elevada que a sua temperatura crítica, 31,06 ° C. Deste modo, permanece sempre no estado de vapor, não existindo nenhuma condensação [2].

Verifica-se, assim, que muitas unidades de refrigeração de compressão a vapor podem operar com CO₂, já que a temperatura no arrefecedor de gás, após o processo de compressão, é superior à temperatura do meio ambiente, permitindo, assim, ceder calor naturalmente à fonte quente, sendo a temperatura de evaporação inferior, o que permite a obtenção do efeito frigorífico [2].

A principal característica que condiciona o projeto de uma instalação de CO₂ é o elevado valor das suas pressões no circuito, por isso constata-se que todos os equipamentos têm de ser mais robustos, quando comparados os equipamentos de ciclos que utilizem fluidos diferentes [2].

Outro aspeto importante prende-se com o valor das propriedades do ponto triplo, onde coexistem as três fases. A pressão da linha tripla do CO₂ é muito mais elevada que a dos outros fluidos como o amoníaco ou o R404A. Deste modo, qualquer fuga do CO₂ para a atmosfera, tem como consequência o surgimento do mesmo na fase sólida, auto selando, automaticamente, a mesma com uma fuga mínima de fluido, o que não sucede para os restantes fluidos [2].

No entanto, devido à elevada massa volúmica do CO₂, quando comparada com os fluidos mencionados, obtém-se valores elevados de refrigeração volumétrica. A consequência direta desta situação consiste na obtenção de um pequeno valor de volume deslocado pelo compressor, para uma dada potência de refrigeração, o que traz benefícios, tais como compressores com tamanho menor e de menor cilindrada, menor quantidade de fluido na instalação e menor dimensão dos equipamentos e tubagem [2].

No que concerne ao desempenho da refrigeração, comparado com um ciclo tradicional que usa o fluido R134A, verifica-se que é praticamente o mesmo. No entanto quando comparados os consumos de energia elétrica destes dois ciclos, verifica-se que o ciclo transcrítico a CO₂ consome menos 20% do que o ciclo com o R134A [19].

No futuro, usando outros sistemas de expansão e equipamentos eficientes, bem como melhoramentos do ciclo, a eficiência destes ciclos tenderá a aumentar [19].

2.7.2 Ciclos com Aplicação de Energia Solar

Nos últimos anos, a crescente procura por sistemas de refrigeração e, também, de ar condicionado provocou um aumento significativo na necessidade de fontes de energia primárias. As fontes de energia renováveis, como a energia solar, têm tido, em vários países e mais do que nunca, um grande interesse devido às suas vantagens promissoras. A refrigeração solar é uma das tecnologias emergente que permite obter, usando a fonte solar renovável, uma economia de energia importante, em comparação com sistemas tradicionais. Além disso, uma vez que existe disponibilidade do sol o ano inteiro, a energia solar pode ser facilmente usada em todo o mundo [20].

A refrigeração solar tem sido usada em todo o mundo para fins industriais e domésticos. Estes sistemas de refrigeração têm sido mais aplicados em áreas remotas ou em ilhas, onde a refrigeração convencional é mais difícil de se obter e onde a energia solar está sempre disponível. Estes sistemas são também mais adequados do que os sistemas de refrigeração convencional, devido a serem usados fluidos de trabalho que não poluem [20].

Na Tabela 7, é apresentado um resumo dos sistemas de refrigeração acionados termicamente e que poderiam usar sistemas solares térmicos para o seu funcionamento. O ciclo de absorção de duplo efeito parece ser a melhor opção, seguido do ciclo de adsorção e do ciclo de absorção de simples efeito [20].

Para a maioria destes sistemas, operados abaixo de 100 °C, os coletores solares de placa plana poderiam ser utilizados, enquanto para temperaturas superiores a 100 °C, teriam de ser usados coletores solares de concentração [20].

Tabela 7 – Resumo de Sistemas Acionados Termicamente Passíveis de Usar Sistemas Solares. Adaptado de [20]

<i>Especificação</i>	<i>Tipo de Processo</i>				
	<i>Aberto</i>		<i>Fechado</i>		<i>Termo-mecânico</i>
<i>Sistema</i>	Dessecante líquido	Dessecante sólido	Ciclo absorção	Ciclo adsorção	Ejetor
<i>Fluido de trabalho</i>	H ₂ O/CaCl ₂ H ₂ O/LiCl	H ₂ O/Gel sílica H ₂ O/LiCl	H ₂ O/LiBr NH ₃ /H ₂ O	H ₂ O/Gel sílica	Vapor
<i>COP</i>	0,74	0,51	0,50-0,73 (um estágio) <1,3 (dois estágios)	0,59	0,35
<i>Temperaturas de operação</i>	67 °C	45-95 °C	60-110 °C (um estágio) 130-165 °C (dois estágios)	53-82 °C	118 °C

2.8 Auditorias Energéticas

Uma auditoria energética consiste numa análise pormenorizada de todos os aspetos relacionados com a utilização de energia, de forma a identificar e atuar em sectores que possam trazer benefícios no âmbito económico, ambiental e de gestão do processo fabril, no caso das indústrias. Permite conhecer onde, quando e como a energia é utilizada, qual a eficiência dos equipamentos e onde se verificam desperdícios de energia, indicando, igualmente, medidas com viabilidade técnico-económica para as anomalias detetadas de modo a reduzir os consumos energéticos necessários à sua atividade. Devem permitir a identificação e quantificação dos usos de todas as fontes de energia (gás, eletricidade, GPL, nafta, fuel, biomassa, calor, etc.) por utilização (iluminação, climatização, força motriz, processo, etc.) e por sectores/equipamentos mais importantes do ponto de vista dos consumos de energia. Esta identificação e quantificação aplicam-se, tanto à energia que entra e sai, como à gerada, distribuída ou consumida no interior da instalação e, ainda, a possíveis reutilizações de energia que existam na instalação. É, deste modo, uma ferramenta essencial à identificação e implementação de Oportunidades de Racionalização de Consumos na instalação [21].

A auditoria energética surge, assim, como um instrumento fundamental para contabilizar os consumos de energia, a eficiência energética dos seus equipamentos e as perdas que se verificam, tendo como finalidade reduzir essas perdas sem prejudicar a produção, isto é, economizar energia através do uso mais eficiente da mesma. Fornece objetivos numéricos, para além de especificar como estes se atingem [21].

Pode fazer-se a distinção do tipo de auditorias, quanto à sua complexidade, existindo as Auditorias Simples, divididas em sintéticas e genéricas ou deambulatórias, e as Auditorias Completas, divididas em analíticas e tecnológicas [21].

As **Auditorias Simples** podem ser suficientes para que seja cumprida a legislação, mas normalmente não são capazes de determinar a melhor solução técnica e económica. Têm a vantagem de ter curta duração, possibilitando a obtenção de resultados num intervalo de tempo e custos mais reduzidos. Utilizam a informação dos consumos, através de faturação dos diferentes tipos de energia. Na indústria, é complementada com a informação relativa ao processo ou setor, incluindo fatores de utilização e características dos equipamentos. Nos edifícios, permite estabelecer o consumo específico ou o Índice de Eficiência Energética (IEE), e ser compará-lo com valores pré-estabelecidos de consumos padrão. Estas auditorias utilizam, normalmente, como informação relativa aos consumos existentes, a faturação relativa aos diferentes tipos de energia e de água. Os consumos existentes são complementados com a informação relativa aos processos de fabrico ou linhas de produção, incluindo as características do equipamento principal e horas de funcionamento [21].

As **Auditorias Completas** consistem numa análise aprofundada da situação energética da instalação, realizando-se uma repartição dos consumos de energia por setor ou equipamento. A função deste tipo de auditorias é a de apoiar o empresário ou gestor de energia na seleção tecnológica mais adequada a possíveis investimentos para uma utilização racional da energia. Permitem a monitorização de sistemas baseado no conhecimento prévio do tipo de instalações a auditar. As medições variam em número e podem envolver condições interiores e exteriores, e medição desagregada do consumo dos equipamentos ou dos setores [21].

A Figura 14 mostra um esquema da metodologia de uma auditoria energética.



Figura 14 – Metodologia de uma Auditoria Energética. Adaptado de [21]

Como material necessário para uma auditoria energética tem-se [21]:

- Analisador de grandezas elétricas - Permite a leitura e registo de gráficos ou dados de grandezas elétricas como potências ativa e reativa, fator de potência, frequência, diferença de potencial, corrente e resistência, harmónicos;
- Anemómetro – Usado para medição do fluxo de ar;
- Termómetro e termopar, termómetro de infravermelhos – Permite medir temperaturas de locais ou equipamentos em funcionamento;
- Tacómetro e estroboscópio – Usado para medir velocidades lineares e angulares;
- Medidor de caudal – Permite medir o fluxo de fluidos;

- Fita métrica – Usada para medir as dimensões das paredes, tetos, janelas ou distâncias entre equipamentos;
- Multímetro – incorpora diversos instrumentos de medidas elétricas num único aparelho como o voltímetro, o amperímetro, o ohmímetro, o frequencímetro, o wattímetro, entre outros;
- Luxímetro – Para medição dos níveis de iluminância de um local.

2.9 Eficiência Energética

É a utilização racional da energia e consiste em proporcionar o mesmo nível de produção de bens, serviços e conforto através de soluções que reduzam os consumos de energia. Nas nossas casas, no local de trabalho, no carro e até nas ruas existe algum equipamento que gasta energia, seja eletricidade, gás, petróleo. Assim, a eficiência energética pressupõe a implementação de medidas para combater o desperdício de energia, desde que esta é transformada até ser utilizada [22].

Neste contexto, surge o termo Utilização Racional da Energia (URE), que subentende a utilização de medidas que permitam uma melhor utilização da energia [22].

Através da escolha, compra e utilização apropriada dos equipamentos, é possível conseguir significativas poupanças de energia, manter o conforto e aumentar a produtividade das atividades dependentes de energia, com vantagens do ponto de vista económico e ambiental [21].

Aplicando medidas de eficiência energética aos vários componentes de um sistema de frio como o compressor, o evaporador, o condensador e a câmara frigorífica, o evaporador contribui com mais de metade da poupança energética, seguindo-se o compressor com 34 % [8], como é possível observar na Figura 15:

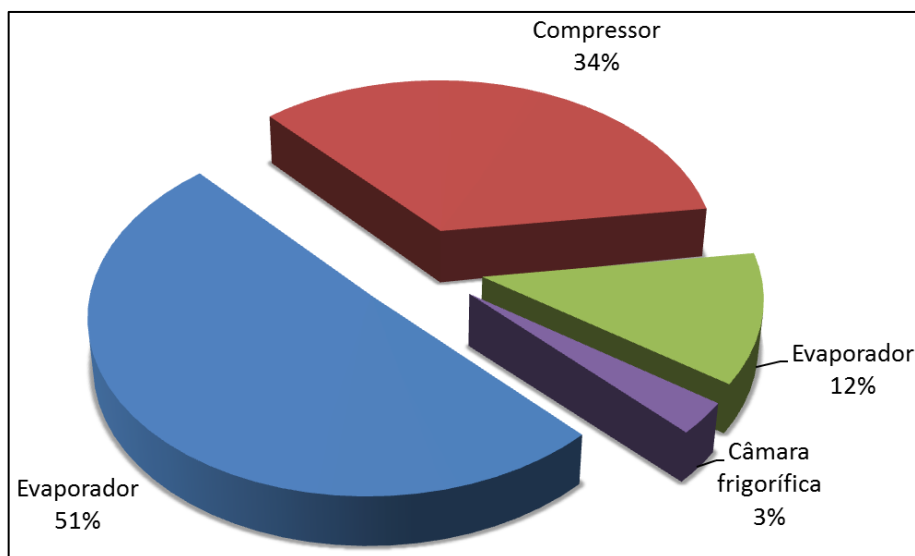


Figura 15 – Contribuição Relativa para a Poupança Energética dos Equipamentos. Adaptado de [8]

3 Apresentação do Problema

Com a crescente preocupação com questões ambientais e em reduzir consumos energéticos na sociedade em geral, é importante focar-se num dos sectores que mais gasta energia em qualquer país desenvolvido, a indústria, sendo Portugal um desses exemplos.

Deste modo, este trabalho surge com esse propósito, o de reduzir consumos energéticos na indústria, mais precisamente em empresas que possuam sistemas de refrigeração, sistemas que são os maiores consumidores de energia nas mesmas, através da implementação de novas tecnologias que sejam mais eficientes energeticamente, reduzindo, dessa forma, quer o impacto negativo no ambiente, quer o gasto de energia com esses sistemas.

É importante voltar a referir que este trabalho surgiu com o intuito de dar continuidade à tese de mestrado desenvolvida pelo Engenheiro Hugo Pinto “Caracterização do Parque Nacional de Refrigeração em Setores de Atividade para os quais o Frio Industrial é Crítico”. Nesse trabalho, conseguiu-se obter informações sobre cerca de uma centena de empresas de vários setores de atividade como carnes, peixes, lacticínios, entre outros, que possuíam sistemas de refrigeração. Concluiu-se que em muitas das empresas os responsáveis pouco sabem dos equipamentos que têm nas mesmas, havendo também poucas com técnicos especializados na área de refrigeração. Concluiu-se ainda que em mais de metade destas empresas, a manutenção era feita por terceiros e que havia muitas melhorias a efetuar e necessidade de investir na área, visto que muitas delas tinham sistemas montados há mais de 15 ou 20 anos, havendo neste momento outras mais modernas e mais eficientes.

3.1 Estudo de Sistemas de Refrigeração

Para se poder começar o estudo em questão, foi necessário relembrar alguns conceitos teóricos acerca de sistemas de refrigeração. Dessa forma, os primeiros dias foram dedicados ao estudo do ciclo de Carnot, do ciclo de compressão a vapor e de conceitos gerais sobre estes sistemas.

Mais tarde, foi também feito um estudo, através da plataforma *online* de aprendizagem da *Danfoss*, acerca de componentes de instalações de refrigeração, isto é, quer sobre os quatro componentes principais de um sistema de compressão a vapor (o compressor, o condensador, a válvula de expansão e o evaporador), quer sobre outros componentes que são essenciais ao funcionamento do sistema.

Desta forma, foi possível obter um melhor conhecimento dos sistemas de refrigeração comerciais e assim melhorar a preparação para o desenvolvimento do estudo.

3.2 Escolha das Empresas

Numa primeira fase, foi escolhido o setor de atividade que iria ser alvo de estudo. Optou-se pelo setor das carnes, visto ser o setor onde existia o maior número de respostas obtidas pelo estudo do Engenheiro Hugo Pinto.

Numa segunda fase, de um conjunto de vinte empresas desse sector, decidiu-se tentar obter pares de empresas que tivessem anos de instalação de câmaras diferentes e, também, consumos energéticos diferentes. Deste modo, seria possível avaliar o possível impacto que a tecnologia instalada poderia ter no consumo energético, uma vez que os anos de instalação eram bastante diferentes e, previsivelmente, a tecnologia também. No entanto, era sabido que uma possível conclusão acerca desse impacto apenas seria possível após uma visita às empresas para o estudo dos equipamentos que estavam, de facto, instalados nas mesmas, da percentagem do consumo energético devida à refrigeração e da dimensão da instalação, quer analisando a potência instalada, quer o volume das câmaras frigoríficas, fatores que são muito importantes para possíveis conclusões acerca do impacto das tecnologias. De outra forma, não seriam conclusões credíveis, nem com algum fundamento.

Após a escolha dos pares de empresas, como não era possível fazer um estudo pormenorizado de todas e por uma questão de proximidade, selecionou-se apenas oito das vinte empresas, que viriam a ser contactadas mais tarde.

3.3 Contacto com as Empresas

A forma escolhida para se contactar as empresas foi a chamada telefónica. Nessa chamada, foi proposto às empresas a marcação de uma reunião, onde seria feita uma apresentação, na qual seriam mostrados os resultados obtidos na dissertação do Engenheiro Hugo Pinto. Na mesma reunião seria, ainda, apresentada uma proposta de continuação do trabalho, através de um estudo pormenorizado das instalações da empresa, relativas à refrigeração, de modo a se poder avaliar possíveis medidas ou investimentos que pudessem reduzir o consumo energético dos sistemas de refrigeração.

Após o contacto com as oito empresas, nem todas se mostraram recetivas à continuação do estudo. Algumas foram propondo horários para possível contacto com os responsáveis das instalações, no entanto, quando era feito o contacto, nunca era possível falar com o responsável, quer por já ter saído da empresa, quer por o horário acordado anteriormente não ser já possível. Dessa forma, as reuniões foram sendo adiadas, até que, após inúmeros contactos e pela falta de interesse demonstrada foi decidido não efetuar mais contatos e focar o interesse noutras empresas.

Em algumas empresas, pelo contrário, logo no primeiro contacto foi possível falar com os responsáveis das instalações e agendar, de imediato, uma reunião, mostrando estas bastante

interesse neste estudo. Para a maioria das oito empresas, foi redigida uma mensagem de correio eletrónico, alguns a pedido das empresas, outros por iniciativa própria, onde era explicado, com mais pormenor, em que consistia o estudo e quais as vantagens que o mesmo poderia trazer para a empresa. Nessa mensagem, era anexado um documento mais técnico, onde era explicado, detalhadamente, o conteúdo da mensagem de correio eletrónico, apresentando casos específicos de possíveis mudanças ou medidas que se poderia implementar num sistema de refrigeração.

3.4 Reuniões com as Empresas

Após a fase das chamadas telefónicas, passou-se à fase das reuniões. Deste modo, foi preparada uma apresentação em *PowerPoint*, para cada empresa, com uma pequena explicação sobre eficiência energética, sobre o consumo típico de uma instalação de refrigeração, bem como a apresentação dos resultados do estudo do Engenheiro Hugo Pinto e a proposta da continuação do estudo, onde eram apresentadas as vantagens para a empresa, da possível realização do mesmo. Foram realizadas reuniões com apenas seis das oito empresas.

Após as reuniões, algumas empresas aceitaram logo a continuação do estudo. No entanto, outras ficaram em espera e uma das empresas, por questões de higiene, não permitia a entrada de pessoas de fora da empresa. Deste modo, apenas foi possível fazer o estudo em duas empresas que não correspondiam aos pares que tinham sido escolhidos inicialmente, isto é, não tinham anos diferentes de instalação das câmaras frigoríficas. Não obstante, foram as empresas possíveis de fazer o estudo e, assim, o mesmo prosseguiu de igual forma.

3.5 Trabalho de Campo

Para se proceder ao trabalho de campo, foi necessário realizar algum trabalho prévio.

Foi elaborado um catálogo de equipamentos e acessórios, que são normalmente usados em sistemas de refrigeração, de modo a poder ser possível identifica-los quando se visitasse as empresas.

Foi, também, elaborada uma lista de pontos a verificar nas visitas às empresas, sob a forma de inquérito a ser preenchido durante a visita, através de observações ou através de questões colocadas ao responsável pela instalação. Esta lista estava dividida em quatro dimensões: “Empresa”, onde se focava pontos gerais sobre a empresa, tais como setor de atividade, capital social, entre outros; “Dados Técnicos”, onde se focava os dados dos equipamentos e dados técnicos como temperaturas, pressões, entre outros; “Manutenção”, onde eram focados pontos sobre como era feita e por quem era feita a manutenção, entre outros pontos, e “Estado”, onde era avaliado o estado de alguns pontos da instalação, tais como tubagens, isolamentos, nível de sujidade, entre outros. A lista completa encontra-se no Anexo A desta dissertação.

3.5.1 Primeira Visita

Na primeira visita às empresas, foi efetuada apenas uma caracterização geral da empresa, bem como um levantamento dos equipamentos de refrigeração instalados, ou seja, a realização de uma auditoria simples. Como material, apenas foi utilizada uma fita métrica.

Numa primeira fase, em ambas as empresas, foram analisadas as câmaras frigoríficas, onde foram medidos o comprimento, largura e altura das mesmas, de forma a obter o seu volume. Fez-se, ainda, a verificação de diversos aspetos das câmaras frigoríficas: temperatura interior pré-estabelecida, tipo de isolamento e sua espessura, o modo de abertura e de fecho das portas, estado das borrachas das portas, modo de distribuição da carne pelas câmaras; tipo de evaporadores, existência de gelo, potência, marca e modelo dos motores; quantidade e potência das lâmpadas interiores e modo como se acendiam e climatização do corredor e respetiva temperatura.

Mais tarde, na mesma visita, foi feito um levantamento dos compressores, nomeadamente a sua marca, estado e características gerais, tais como potência, tipo, fluido frigorigéneo no circuito, marca e modelo. Também se fez o levantamento dos condensadores, nomeadamente qual o seu tipo, potência dos seus motores e estado geral. Na empresa 2 existia uma torre de refrigeração, em vez do condensador tradicional, o qual também foi caracterizado. Foram ainda avaliados os estados dos isolamentos das tubagens e possíveis fugas de óleo ou de outros fluidos no sistema.

Nas duas empresas, não foi possível verificar e caracterizar o sistema de expansão, pois não se encontrava visível, nem ninguém das empresas sabia qual o tipo de sistema que tinha instalado.

No fim desta primeira visita, houve uma breve reunião com os responsáveis das empresas, durante a qual foram feitas algumas questões de modo a poder preencher a lista de pontos enumerada no início deste subcapítulo, principalmente nos pontos sobre a empresa e sobre a manutenção, visto que os outros pontos não dependiam desses responsáveis para serem preenchidos.

3.5.2 Segunda Visita

A segunda visita às empresas consistiu na instalação de alguns equipamentos analisadores do consumo de energia, da marca *Efergy*, modelo E2 Classic, cujos dados técnicos se encontram no Anexo B, e da marca *Owl*, modelo +USB, cujos dados técnicos se encontram no Anexo C. Esta instalação teve como objetivo permitir ter uma melhor noção do comportamento dos equipamentos ao longo do tempo, isto é, se existiam muitos arranques, possíveis picos exagerados, ou se existia alguma diferença significativa entre o seu consumo durante a semana e ao fim de semana.

Deste modo, foram instalados, na empresa 2, dois equipamentos *Efergy* em duas câmaras, que media o consumo da câmara, mais concretamente media o consumo dos motores dos evaporadores e das lâmpadas. Foi também instalado um equipamento *Owl* num dos compressores e outro na torre de refrigeração, onde foi dito, pelo responsável da instalação,

que mediria o ventilador da torre de refrigeração. A ideia inicial e ideal teria sido uma monitorização dos dois compressores e, dessa forma, verificar como seria o comportamento dos dois em simultâneo. No entanto, um dos equipamentos *Owl* não conseguia medir uma corrente tão elevada, devido à configuração das pinças que eram ligadas ao quadro elétrico. Sendo assim, optou-se por medir a torre de refrigeração, que tinha uma corrente mais baixa.

Os equipamentos foram efetuando medições durante uma semana, completa, tendo-se, mais tarde, recolhido os equipamentos e descarregado os dados para o computador.

Na empresa 1, não foram instalados estes equipamentos pois, ao contrário da empresa 2, a localização e a configuração dos quadros elétricos não permitiu a sua instalação.

Esta segunda visita às empresas serviu, também, para confirmar ou recolher possíveis dados que tivessem sido esquecidos durante a primeira visita.

4 Análise dos Resultados

Neste capítulo, serão abordados e analisados os resultados obtidos neste trabalho. Serão apresentadas relações entre os resultados e apresentados os dados estatísticos obtidos.

Está dividida nos seguintes pontos:

- Dados gerais das empresas;
- Instalações das empresas;
- Consumos de eletricidade e quantidade de carne armazenada das empresas;
- Consumo de eletricidade com equipamento *Efergy* e *Owl*;
- Propostas de melhoria através da utilização de novas tecnologias.

4.1 Dados Gerais das Empresas

Na Tabela 8, são apresentados os dados gerais das empresas estudadas como, por exemplo, o ano de início de negócio, o setor de atividade, o capital social, o número de câmaras frigoríficas, as fontes de energia primária e que zonas de frio possuem.

Verifica-se que existe uma diferença de 15 anos no que respeita ao início de negócio, sendo a empresa 2 a mais recente, o que poderia levar a crer que possuísse um sistema instalado mais moderno e mais eficiente do que a da empresa 1. No entanto, a empresa 1 fez uma remodelação dos seus equipamentos, mais ou menos, pela mesma altura do início do negócio da empresa 2, cerca de dois anos antes. Não foram referidos os anos concretos de início de negócio por motivos de sigilo, sendo apresentada apenas a diferença entre as duas datas.

Quanto ao setor de atividade, trata-se do mesmo, pois este foi um dos requisitos para se comparar as duas empresas.

Em relação ao capital social, verifica-se que, nas duas empresas, este é da mesma ordem de grandeza. No entanto, isto não traduz necessariamente informação sobre a dimensão das empresas. Por motivos de sigilo, o capital social de ambas as empresas foi multiplicado por um fator comum.

Quanto ao número de câmaras frigoríficas, verifica-se que a empresa 2 tem o dobro das câmaras da empresa 1.

Em relação às fontes de energia primária, as empresas têm em comum, o facto de terem, como fonte de energia, a eletricidade e o gásóleo, uma vez que ambas têm geradores de emergência a gásóleo, para o caso de existir alguma falha de eletricidade. No entanto, a empresa 2 possui,

ainda, gás natural como fonte de energia, pois necessitam da produção de vapor de água a alta pressão para o funcionamento da secção de abate de gado. A empresa 1, apesar de pertencer ao setor de atividade de abate de gado não o faz, na realidade apenas armazena carne, enquanto a empresa 2 efetua os dois processos.

Quanto às zonas de frio, a empresa 1 possui uma câmara de congelação, 6 de refrigeração e duas de tratamento, enquanto na empresa 2 a maior parte das zonas de frio é dedicada à refrigeração, havendo uma de tratamento.

Tabela 8 – Dados Gerais das Empresas Estudadas

	<i>Empresa 1</i>	<i>Empresa 2</i>
<i>Diferença entre anos de início de negócio</i>	15	
<i>Setor de atividade</i>	Abate de gado (produção de carne)	Abate de gado (produção de carne)
<i>Capital social</i>	500.000,00	381.600,00
<i>Número de câmaras</i>	9	18
<i>Fontes de energia primária</i>	Eletricidade e gasóleo	Eletricidade, gasóleo e gás natural
<i>Zonas de frio</i>	Refrigeração, congelação e tratamento	Refrigeração e tratamento

4.2 Instalações das Empresas

Neste subcapítulo, serão apresentados os dados retirados sobre as instalações de frio das empresas e sobre o ciclo termodinâmico usado nas mesmas.

4.2.1 Dimensão das Instalações e Potência Instalada de Compressores

Na Tabela 9 e na Tabela 10, estão discriminadas as potências instaladas de compressores, as dimensões de cada câmara frigorífica e o total das mesmas, para cada uma das empresas.

Na empresa 1, existe um compressor para cada câmara, excetuando duas das câmaras, que são câmaras pequenas usadas apenas para corte e embalagem de carne e também a câmara de congelação 5, que é alimentada por dois equipamentos, totalizando um total de aproximadamente 46 kW instalados.

Na empresa 2, existem dois compressores, de 45 kW cada, perfazendo 90 kW instalados, que alimentam a totalidade das câmaras frigoríficas. Assim, na empresa 1 o sistema é composto por sistemas individuais para cada câmara, enquanto na empresa 2 existe um sistema centralizado.

Analisando o volume das câmaras, verifica-se que na empresa 1 que excetuando a câmara 5, o volume destas se encontra entre $57,5 \text{ m}^3$ e 260 m^3 , enquanto na empresa 2 todas as câmaras se encontram entre 28 m^3 e 258 m^3 . Na Figura 16 e na Figura 17, mostra-se exemplos das câmaras da empresa 1, onde na primeira se armazena carne embalada e na segunda se armazenam carcaças. Na Figura 18 e na Figura 19, mostra-se também exemplos das câmaras da empresa 2, sendo a primeira de pequena altura, 3,5 m, e a segunda de altura maior, 5,4 m, sendo a primeira mais usada para peças pequenas e a segunda para carcaças.

Quanto ao volume total de câmaras frigoríficas de cada uma das empresas, verifica-se que o volume da empresa 2 é superior em cerca de 800 m^3 ao da empresa 1. No entanto, o valor médio do volume de cada câmara é inferior para a empresa 2, mais precisamente $136,8 \text{ m}^3$, enquanto na empresa 1 é de $178,34 \text{ m}^3$. Desta forma, a empresa 2 pode distribuir por mais câmaras a carne a armazenar, podendo fazer uma melhor distribuição da carne pelas várias câmaras, usando menos volume que a empresa 1 para o mesmo efeito.

Verifica-se, também, que na empresa 1 a área de chão das câmaras é, em média, maior, em relação à da empresa 2, no entanto, a altura média é cerca de meio metro inferior em relação à empresa 2. Esta pequena diferença pode ser relevante no armazenamento das carcaças inteiras, pois se a carcaça for muito grande pode correr o risco de, se a altura não for suficiente, ficar a tocar no chão, o que se torna pouco higiénico, situação que na empresa 2 está menos suscetível de acontecer.

Fazendo um rácio da potência de compressão que cada câmara necessita, em média, por unidade de volume (PCPV), neste caso, o metro cúbico, verifica-se que na empresa 1, excetuando as câmaras 2 e 4, os valores encontram-se todos muito próximos, entre $25,5$ e 32 W/m^3 . Já na empresa 2, apenas foi possível fazer o rácio médio de todo o sistema, visto que o este é centralizado, sendo esse valor de $36,56 \text{ W/m}^3$, valor superior ao da empresa 1, em que o valor médio é de $28,62 \text{ W/m}^3$.

Quanto aos motores, quer dos evaporadores, quer dos condensadores, na empresa 1, não foi possível obter os valores de todos os equipamentos. Nos sistemas monoblocos, nem no local, nem posteriormente procurando no catálogo, existia informação sobre as potências dos motores. Quanto aos outros sistemas, foi possível obter os valores para os condensadores. No que respeita aos evaporadores, a maior parte deles não continha os autocolantes com os dados técnicos. Deste modo, não foi feita a média de motores e da sua potência por câmara, quer dos condensadores, quer dos evaporadores.

Na empresa 2, pelo contrário, todos os evaporadores tinham motores iguais, com a mesma potência, sendo assim, mais fácil efetuar a caracterização dos mesmos. Em média estavam instalados 2,3 motores por câmara obtendo-se uma potência média de 840 W.

Quanto à torre de refrigeração, através do catálogo, foi possível saber que possuía um motor com uma potência de 7,5 kW correspondendo a uma média de potência de 416,7 W por câmara. Além disso, possuía ainda uma bomba de água com uma potência de 750 W.

Quanto à iluminação, foi possível caracterizar todas as lâmpadas contidas dentro das câmaras de ambas as empresas, atribuindo-se um valor médio de 49 W a cada uma. Para a empresa 1, em média, as câmaras têm 5,7 lâmpadas, correspondendo a uma potência total de 277,7 W. Já na empresa 2, esse valor é um pouco inferior, sendo a média de 4,5 lâmpadas por câmara, correspondendo uma potência total de 220,5 W. Também se verificou que na empresa 1 o modo como acendiam estas mesmas lâmpadas era automático, isto é, quando se abria as portas das câmaras as lâmpadas acendiam, enquanto na empresa 2, as lâmpadas acendiam através de interruptores

Fazendo uma soma da potência total dedicada ao frio, verifica-se que na empresa 1 essa é de 53,6 kW, no mínimo, uma vez que não foi possível conhecer todas as potências dos motores dos evaporadores e dos condensadores, doutro modo este valor subiria. Quanto à empresa 2, esse valor é mais do dobro, de 117,4 kW, no mínimo.

Sendo importante avaliar a quantidade da potência total dedicada ao frio que é usada por câmara, fez-se um rácio dessa potência por volume de câmaras usado (PTPV), verificando-se que, para a empresa 1, esse rácio tem um valor de, no mínimo, 33,41 W/m³ e na empresa 2 de 47,7 W/m³, no mínimo.

Estes valores parecem permitir concluir que a empresa 2 estará a trabalhar a uma capacidade inferior para a qual foi dimensionada, sendo que esta capacidade foi dimensionada tendo em conta situações de pico, isto é, várias situações pouco favoráveis a ocorrer em simultâneo e que exigissem mais dos equipamentos, como temperaturas exteriores muito altas ou muito baixas ou todas as câmaras estarem a trabalhar ao mesmo tempo, a plena carga. Por outro lado, a empresa 1 parece estar a trabalhar praticamente na sua plena carga.

Tabela 9 – Empresa 1: Dados sobre as Instalações

Câmaras	PC [W]	AC [m ²]	A [m]	V [m ³]	PCPV [W/m ³]	ME		MC		Iluminação	
						Nº	Potência Total [W]	Nº	Potência Total [W]	Nº	Potência total [W]
1	3700	28,55	4,45	127,04	29,13	3	420	-	-	4	196
2	2940	29,25	4,45	130,16	22,59	-	-	-	-	4	196
3	5510	45,63	4,45	203,05	27,14	-	-	-	-	12	588
4	3730	20,29	4,63	93,96	39,70	-	-	-	-	2	98
5	5590	113,88	4,6	523,85	28,81	-	-	-	-	8	392
	9500					-	-	2	1.100		
6	7500	56,96	4,56	259,76	28,87	3	1.950	2	780	4	196
7	3730	32,13	4,56	146,51	25,46	-	-	3	195	4	196
8	3730	12,78	4,5	57,51	30,91	-	-	2	750	4	196
9		14,04	4,5	63,18		-	-			9	441
Média por Câmara	5.103,3	39,28	4,52	178,34	28,62	-	-	-	-	5,7	277,7
Total	45.930	353,52	-	1.605	-	-	-	-	-	51	2.499
Potência total dedicada ao frio [kW]						>53,6					
PTPV [W/m ³]						>33,41					

Tabela 10 – Empresa 2: Dados sobre as Instalações

Câmaras	PC [W]	AC [m ²]	A [m]	V [m ³]	PCPV [W/m ³]	ME		MC		Iluminação	
						Nº	Potência Total [W]	Nº	Potência Total [W]	Nº	Potência total [W]
1	90.000	18,2	3,5	63,70	36,56	1	370	1	7.500	2	98
2		18,2	3,5	63,70		1	370			2	98
3		45,75	5,4	247,05		4	1.480			2	98
4		47,12	5,4	254,45		4	1.480			2	98
5		47,74	5,4	257,80		6	2.220			2	98
6		45,58	5,4	246,13		6	2.220			6	294
7		33,92	5,4	183,17		3	1.110			6	294
8		34,98	5,4	188,89		3	1.110			6	294
9		38,63	5,4	208,58		2	740			6	294
10		35,67	5,4	192,63		2	740			4	196
11		14,7	5,4	79,38		1	370			4	196
12		47,17	5,4	254,72		2	740			6	294
13		11,88	5,4	64,15		1	370			6	294
14		10,62	3,5	37,17		1	370			12	588
15		10,56	3,5	36,96		1	370			3	147
16		5,12	5,4	27,65		1	370			4	196
17		5,12	5,4	27,65		1	370			4	196
18		5,12	5,4	27,65		1	370			4	196
Média por Câmara	5.000	26,45	4,98	136,8	-	2,3	840	-	416,67	4,5	220,5
Total	90.000	476,1	-	2.461,4	-	41	15.170	1	7.500	81	3.969
Potência total dedicada ao frio [kW]						>117,4					
PTPV [W/m ³]						>47,7					



Figura 16 – Empresa 1: Câmara de Armazenamento de Embalagens



Figura 17 – Empresa 1: Câmara de Armazenamento de Carcaças Inteiras



Figura 18 – Empresa 2: Câmara de Pequenas Dimensões



Figura 19 – Empresa 2: Câmara de Grandes Dimensões

4.2.2 Ciclo Termodinâmico e seus Componentes

Analisando o ciclo termodinâmico, verifica-se que é o mesmo nas duas empresas, correspondendo ao ciclo de compressão a vapor, o mais usado no mercado.

Quanto ao fluido frigorigéneo, enquanto na empresa 2 é usado apenas um fluido nos dois compressores da instalação, o amoníaco, na empresa 1 isso já não acontece, uma vez que existem vários sistemas isolados, quer sistemas monoblocos, visíveis na Figura 20, quer unidades condensadoras, visíveis na Figura 21, instalados à medida que a empresa foi crescendo ou fazendo modificações na configuração das câmaras, mudando os seus volumes e o seu número, existindo assim vários fluidos, como o R404A, o R422D, havendo alguns equipamentos que ainda tinham a informação de que continham o R22, fluido que foi proibido de ser utilizado.

Em relação ao sistema de expansão, quer numa empresa, quer na outra não foi possível observar qual era o seu sistema. No entanto, para a empresa 1, consultando os catálogos dos

equipamentos instalados verificou-se que os sistemas monobloco existentes na mesma, Figura 20, continham, como sistema de expansão, o tubo capilar, sistema que não é o mais adequado, uma vez que não permite acompanhar possíveis variações na carga da câmara frigorífica. Apenas um desses sistemas monobloco possuía válvula de expansão termostática. Nos outros sistemas, Figura 21, não foi possível conseguir saber qual era o sistema de expansão.

Quanto ao tipo de evaporador, verificou-se que ambas as empresas possuíam o mesmo tipo de evaporadores, os secos, visível na Figura 16 para a empresa 1, e visível na Figura 18 para a empresa 2. Para os mesmos evaporadores, também foi necessário avaliar como era feita a sua descongelação. Verificou-se que na empresa 1 não existia um especial cuidado com esse processo. Apenas quando se verificava algum problema no funcionamento do sistema era chamada a equipa de manutenção e aí realizavam a descongelação, sendo esta efetuada por resistência elétrica nos monoblocos. Nos outros conjuntos não foi possível perceber que tipo de descongelação era efetuado. É importante referir que o método de descongelação por resistência elétrica não é o mais adequado, visto que gasta energia elétrica para aquecer e, desse modo, descongelar o evaporador. Um método mais eficiente e menos dispendioso de descongelar o evaporador é o uso de gás quente.

Na empresa 2, o tipo de descongelação utilizado era, precisamente, o de gás quente, sendo que esta descongelação era pré-programada, mesmo não sabendo como se encontrava o evaporador quanto ao nível de gelo, o que não é totalmente eficiente. Deveria haver um dispositivo que medisse o nível de gelo e, só quando fosse necessário, efetuava-se a descongelação.

Quanto ao tipo de compressor, na empresa 1 a grande parte dos sistemas eram os de monoblocos, Figura 20, e esses sistemas possuíam compressores do tipo alternativo hermético, os quais, se tiverem algum problema, têm de ser totalmente substituídos, apesar de o preço ser inferior, de um modo geral, aos semi-herméticos. Na mesma empresa existiam ainda compressores do tipo alternativo semi-hermético, Figura 21.

Na empresa 2 apenas existiam compressores alternativos semi-herméticos que possuíam regulação da capacidade, isto é, podiam não trabalhar, ou trabalhar a 50 ou a 75 % da sua capacidade, ou também trabalhar a plena carga.

Quanto ao tipo de condensador, na empresa 1 eram usados sistemas condensadores a ar, Figura 23, enquanto na empresa 2 era usada uma torre de refrigeração, Figura 24.

Na Tabela 11 encontram-se resumidos estes pontos acerca do ciclo termodinâmico e seus componentes.

Tabela 11 – Ciclo Termodinâmico e seus Componentes

	<i>Empresa 1</i>	<i>Empresa 2</i>
<i>Ciclo termodinâmico</i>	Compressão a vapor	Compressão a vapor
<i>Fluido refrigerante</i>	Vários: R404A, R422D, R22, R502	Amoníaco
<i>Tipo de sistema de expansão</i>	Vários: Tubo capilar, válvula de expansão termostática e outros	-
<i>Tipo de evaporador</i>	Seco	Seco
<i>Tipo de descongelação</i>	Elétrica	Gás quente
<i>Tipo compressor</i>	Vários: Alternativos herméticos e alternativos semi-herméticos	Alternativo semi-hermético
<i>Tipo de condensador</i>	Ar	Torre de refrigeração



Figura 20 – Empresa 1: Sistemas Monoblocos



Figura 21 – Empresa 1: Unidades Condensadoras



Figura 22 – Empresa 2: Compressores



Figura 23 – Empresa 1: Condensadores



Figura 24 – Empresa 2: Torre de Refrigeração

Na Tabela 12, estão discriminadas as características de funcionamento dos dois compressores da empresa 2.

Tabela 12 – Empresa 2: Dados Técnicos do Compressor

Velocidade do compressor	n	min ⁻¹	Min	800
			Max	1500
Pressão de sucção (Pressão evaporação)	p ₀	bar	Min	0,3
			Max	6,2
Temperatura evaporação (Temperatura de saturação à pressão de sucção)	t ₀	°C	Min	-55,1
			Max	10,2
Temperatura de sucção real	t _a	°C	Min	-50
Sobreaquecimento de sucção	Δt	°C	Min	0
Pressão de descarga (Pressão condensação)	p _c	bar	Max	24
Pressão design	-	bar	-	26,5
Temperatura condensação (Temperatura de saturação à pressão de descarga)	t _c	°C	Max	59,8
Temperatura de descarga	t _e	°C	Max	155
Rácio de pressão por etapa (p_c/p₀)	j	-	Min	1,5
			Max	10
Diferença de pressões (p_c-p₀)	Δp	bar	Max	24

4.3 Consumos de Eletricidade e Quantidade de Carne Armazenada das Empresas

Neste subcapítulo, serão analisados os consumos de eletricidade, a quantidade de carne armazenada e a relação entre ambos para as duas empresas.

4.3.1 Variação do Consumo de Eletricidade Anual

Com a análise da Figura 25 e da Figura 26, que mostram a evolução do consumo de energia ativa e reativa das empresas, pode-se concluir que esse consumo varia de acordo com o que já era expectável, isto é, o maior pico de consumo acontece no Verão, nos meses de Julho, Agosto e também de Setembro, o que, muito provavelmente, se deverá às maiores temperaturas exteriores das câmaras. Isto leva a que, com qualquer abertura das portas de cais, exista uma grande carga térmica nos corredores de entrada das câmaras, e, deste modo, quando existir qualquer abertura das portas das câmaras, a mesma carga térmica, entretanto reduzida pela passagem pelos corredores, também eles climatizados, faz aumentar a temperatura interior das câmaras levando a um possível aumento do tempo de funcionamento, quer dos motores dos evaporadores, quer, principalmente, dos compressores, de modo a vencer a carga térmica em questão. Outro dos picos dá-se em Dezembro, o que provavelmente se deverá ao maior volume de negócio, devido à época natalícia e à entrada no novo ano civil, bem como em Março, provavelmente devido à época da Páscoa.

Na empresa 1 houve acesso à informação da distribuição dos consumos pelos vários horários do dia: Horário de Ponta (HP), Horário de Cheia (HC), Horário de Vazio Normal (HVN) e Horário de Super Vazio (HSV), no entanto, na empresa 2, apenas houve acesso ao consumo total de cada mês, sem especificação dos horários.

Outro ponto importante é a representação, na empresa 1, do consumo de energia reativa, que representa cerca de 32.000 kVArh anuais, o que acarretou um custo de 726 euros, valor que não sendo muito significativo no consumo total da empresa (34.000 euros), poderia ser reduzido quase na totalidade com a instalação de uma bateria de condensadores que permitisse compensar o fator de potência, eliminando praticamente o consumo de energia reativa e com um *pay-back* tipicamente muito curto, cerca de um ano, dependendo da dimensão da mesma bateria. Na empresa 2 não foi representado esse consumo pois esta empresa já tem implementada uma bateria de condensadores, sendo o consumo de energia reativa muito residual.

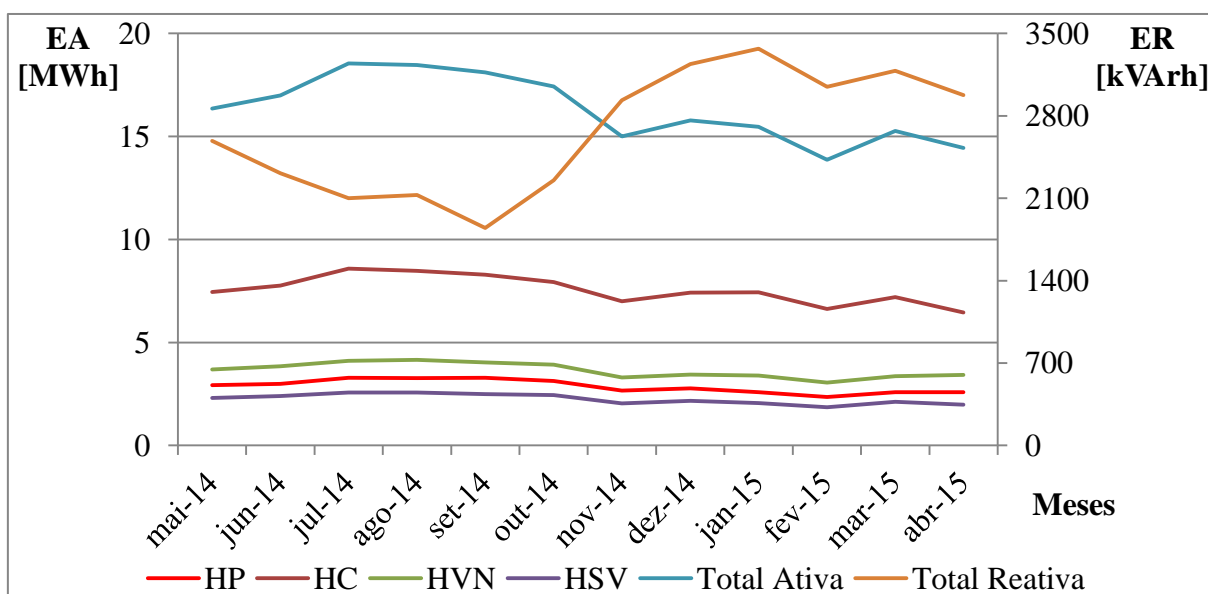


Figura 25 – Empresa 1: Consumo de Energia Ativa e Reativa

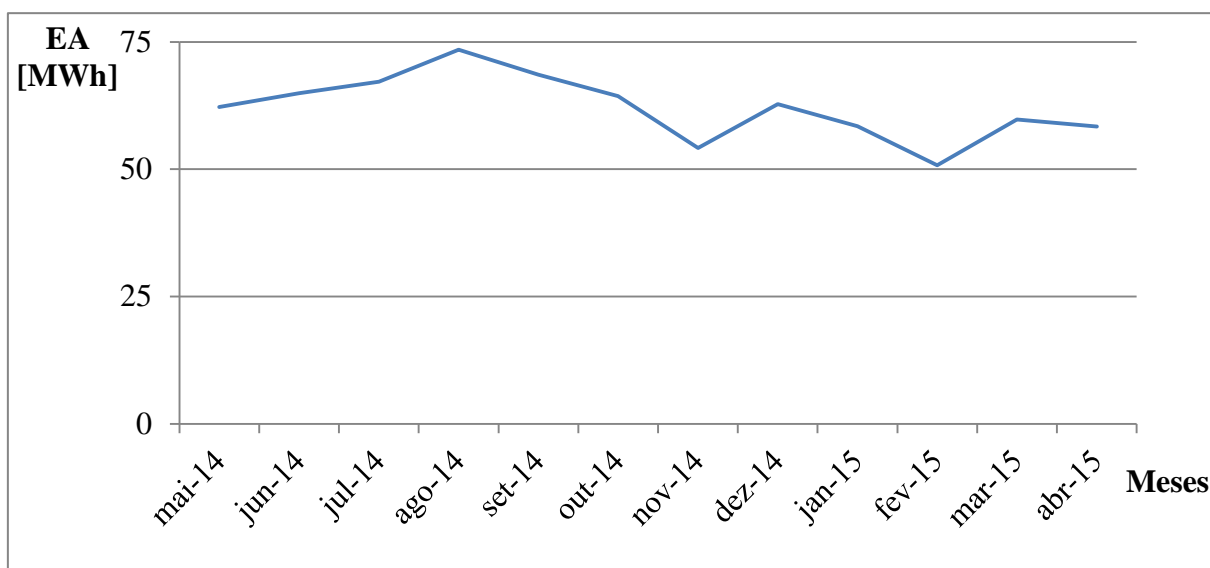


Figura 26 – Empresa 2: Consumo de Energia Ativa

A análise da Figura 27 permite observar que o consumo de eletricidade da empresa 2 varia de acordo com as toneladas de carne armazenadas/vendidas durante os vários meses, isto é, nota-se que existe um acompanhamento na evolução do consumo de eletricidade com as toneladas de carne armazenada, o que é expectável. Se existe maior volume de carne armazenada é de esperar que o consumo elétrico aumente pois, quer os compressores, quer os motores dos evaporadores e dos condensadores, estarão a funcionar mais tempo, levando então ao aumento do consumo de eletricidade.

Na empresa 1, apenas foi fornecido um valor médio semanal de carne armazenada, daí não ser possível obter um gráfico, como o anterior, com a eletricidade consumida ao longo do ano em função da carne armazenada.

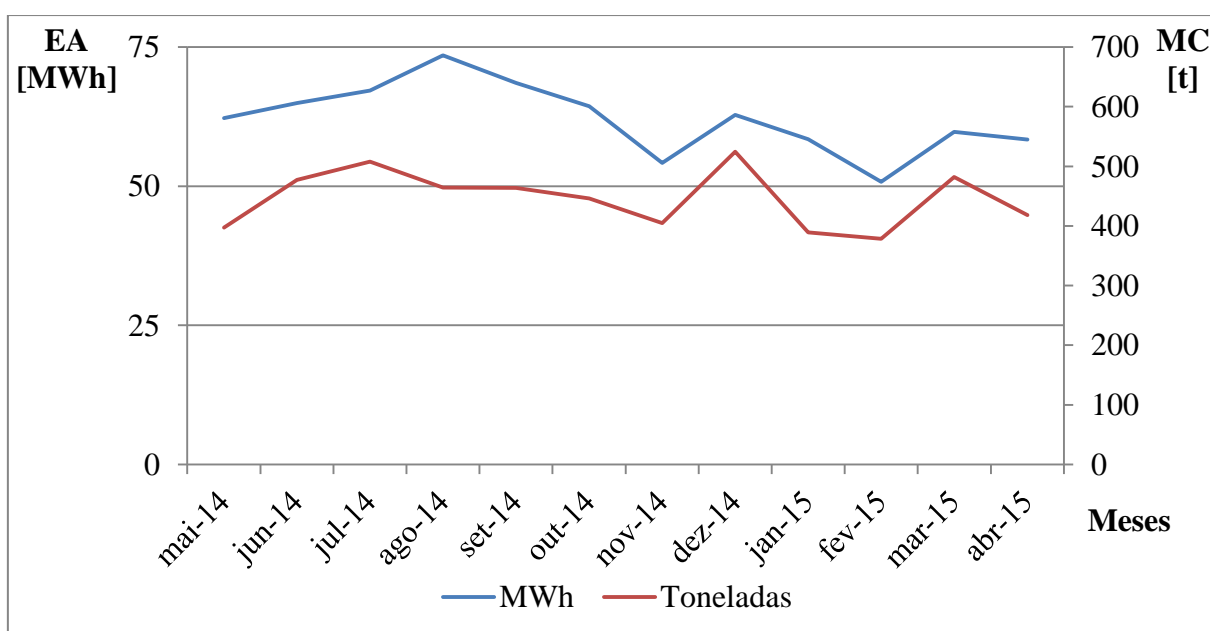


Figura 27 – Empresa 2: Consumo de Eletricidade Anual vs Massa de Carne Anual

Na Tabela 13, está discriminado, mês a mês, o consumo de energia ativa e reativa das duas empresas bem como o valor do consumo médio mensal.

Verifica-se que, para a empresa 1, o valor mínimo total foi de 13.873 kWh em Fevereiro e o valor máximo ocorreu em Julho, sendo o mesmo de 18.542 kWh. Já na empresa 2 o valor mínimo ocorreu também em Fevereiro, tal como na empresa 1, sendo o mesmo de 50.789 kWh e o valor máximo ocorreu em Agosto, com um valor de 73.520 kWh.

Tabela 13 – Consumo de Energia das Empresas

	<i>Empresa 1</i>						<i>Empresa 2</i>
<i>Meses</i>	<i>EA [kWh]</i>					<i>ER [kVArh]</i>	<i>EA [kWh]</i>
	<i>HP</i>	<i>HC</i>	<i>HVN</i>	<i>HSV</i>	<i>Total</i>		<i>Total</i>
<i>Mai-14</i>	2922	7447	3685	2303	16357	2587	62246
<i>Jun-14</i>	2997	7753	3840	2403	16993	2313	64919
<i>Jul-14</i>	3287	8579	4104	2572	18542	2101	67205
<i>Ago-14</i>	3269	8477	4152	2566	18464	2127	73520
<i>Set-14</i>	3288	8295	4028	2492	18103	1847	68568
<i>Out-14</i>	3131	7932	3920	2445	17428	2252	64376
<i>Nov-14</i>	2659	6997	3301	2044	15001	2932	54201
<i>Dez-14</i>	2767	7413	3435	2162	15777	3241	62809
<i>Jan-15</i>	2591	7437	3386	2060	15474	3369	58444
<i>Fev-15</i>	2350	6621	3053	1849	13873	3048	50789
<i>Mar-15</i>	2586	7196	3367	2124	15273	3183	59766
<i>Abr-15</i>	2583	6449	3429	1984	14445	2976	58399
<i>Média Mensal</i>	2869,17	7549,67	3641,67	2250,33	16310,83	2664,67	62103,5
<i>Total</i>	34430	90596	43700	27004	195730	31976	745242

4.3.2 Quantidade de Carne Armazenada e Eletricidade Consumida

Na Tabela 14 e na Tabela 15, descreve-se a eletricidade total consumida por cada uma das empresas, bem como a quantidade de carne anual armazenada. Foi assumido, apesar de se saber que não corresponde à verdade, que toda a eletricidade das empresas se deve ao sistema de frio. Ainda foi equacionado atribuir um valor típico que alguns estudos sugerem, no

entanto as conclusões e as relações entre os vários valores das empresas que são comparados não se iam alterar, optando-se então por esta opção.

Analisando a energia ativa consumida anualmente nas empresas, verifica-se que a empresa 1 consome quase quatro vezes menos do que a empresa 2, mais precisamente 3,8 vezes, sendo o consumo, na empresa 1, de 195.730 kWh e, na empresa 2, de 745.242 kWh. Fazendo uma média da necessidade dessa energia por câmara verifica-se que a empresa 1 gasta 21.747,78 kWh, sendo que na empresa 2 é gasto praticamente o dobro, 41.402,33 kWh. Fazendo uma média mensal, verifica-se que a empresa 1 gasta em média 16.310,8 kWh e a empresa 2, 62.103,5 kWh.

Em relação ao custo anual com a eletricidade, verifica-se que a relação entre a empresa 1 e a empresa 2 já não é a mesma do ponto anterior. A empresa 1 tem um gasto de 34.295 euros e a empresa 2, um gasto de 85.131 euros, o que dá um rácio de 2,48 entre os dois valores. Esta diferença de rácios pode ser mais facilmente compreendida olhando para o custo de cada kWh consumido (CEPEA). Na empresa 1, esse custo é de 0,175 euros por kWh, enquanto na empresa 2 é de 0,114 euros por kWh, o que corresponde a uma diferença significativa. Esta diferença deve-se ao facto de a empresa 2 ter um posto de transformação próprio, sendo, assim, alimentada por média tensão, enquanto a empresa 1 é alimentada por baixa tensão especial, o que tem custos superiores de fornecimento. Além disso, como já referido no subcapítulo anterior, a empresa 1 tem consumo de energia reativa, o que acarreta alguns custos, enquanto na empresa 2 não, o que também contribui para esta diferença. Uma solução para reduzir o custo da eletricidade na empresa 1 seria, tal como na empresa 2, ter um posto de transformação que pudesse alimentar a empresa a média tensão. O tempo de retorno do investimento deste dispositivo é, tal como a bateria de condensadores, tipicamente curto. No entanto, para isso acontecer seria necessário ter uma potência contratada de mais de 250 kW, situação que não acontece na empresa 1.

Quanto à quantidade de carne armazenada, verifica-se que a razão é pequena, comparativamente com os rácios anteriores, não chegando ao valor de 2, sendo que a empresa 1 armazenou cerca de 3120 toneladas de carne enquanto a empresa 2 armazenou 5355 toneladas.

Observando a quantidade energia que é necessária, em média, para armazenar uma tonelada de carne (EAPMC) verifica-se que a empresa 2 gasta mais do dobro da energia do que a empresa 1. No entanto, uma vez que o custo dessa energia é diferente de uma empresa para a outra, o custo desse armazenamento (CEPMC) na empresa 2 é de 15,9 €/t e na empresa 1 é de 10,99 €/t, sendo a relação inferior a 1,5 vezes.

Isto permite concluir que a empresa 2 faz um melhor aproveitamento do espaço das câmaras para o armazenamento da carne, isto é, armazena mais carne em cada metro cúbico, o que, de facto, se confirma fazendo um rácio do volume total de câmaras pelo total de carne armazenada (VPMC). Na empresa 1 são necessários 0,514 m³ para armazenar uma tonelada de carne, enquanto na empresa 2 esse valor é inferior, cerca de 0,460 m³.

Tabela 14 – Empresa 1: Quantidade de Carne Armazenada e Eletricidade Consumida

		<i>EA Anual [kWh]</i>	<i>CE Anual [€]</i>	<i>MC Anual [t]</i>
Empresa 1	<i>Média por câmara</i>	21.747,78	3.810,50	346,70
	<i>Média mensal</i>	16.310,83	2.857,89	260
	<i>Total</i>	195.730,00	34.294,70	3.120,00
	<i>EAPMC [kWh/t]</i>	62,73		
	<i>CEPMC [€/t]</i>	10,99		
	<i>CEPEA [€/kWh]</i>	0,175		
	<i>VPVC [m³/t]</i>	0,514		

Tabela 15 – Empresa 2: Quantidade de Carne Armazenada e Eletricidade Consumida

		<i>EA Anual [kWh]</i>	<i>CE Anual [€]</i>	<i>MC Anual [t]</i>
Empresa 2	<i>Média por Câmara</i>	41.402,33	4.729,48	297,50
	<i>Média Mensal</i>	62.103,50	7.094,23	446,25
	<i>Total</i>	745.242,00	85.130,70	5.355,00
	<i>EAPMC [kWh/t]</i>	139,17		
	<i>CEPMC [€/t]</i>	15,90		
	<i>CEPEA [€/kWh]</i>	0,114		
	<i>VPVC [m³/t]</i>	0,460		

4.4 Consumo de Eletricidade com os Equipamentos *Efergy* e *Owl*

Neste subcapítulo, serão analisados os consumos energéticos obtidos com os equipamentos *Efergy* e *Owl* na empresa 2. Nas câmaras, foram analisados esses consumos, comparando-os com as temperaturas interiores das mesmas. No compressor e na torre de refrigeração, foram analisados os seus comportamentos, ao longo do tempo, de uma forma geral. Foram

escolhidas as câmaras 12 e 15 por, segundo o responsável da empresa, estarem quase sempre ligadas e por apresentarem volumes muito diferentes entre elas, deste modo seria possível comparar os dois consumos e relacioná-los com os seus volumes.

É importante referir, para uma melhor compreensão dos gráficos, que cada linha vertical representa o fim de um dia e o início de outro, sendo o primeiro dia uma segunda-feira.

4.4.1 Relação do Consumo das Câmaras com a sua Temperatura Interior

Com a análise da Figura 28 e da Figura 29, verifica-se que os picos de temperatura se dão quando existe uma quebra no consumo de eletricidade da câmara, isto é, quebra do funcionamento dos motores dos evaporadores e das lâmpadas das câmaras. Este facto deve-se a descongelações programadas por gás quente, segundo informação do responsável da instalação, isto é, existem descongelações programadas nas câmaras, mesmo sem se ter informação se existe gelo nos evaporadores. Desta forma, quando ocorre essa descongelação, os motores dos evaporadores desligam, de modo a não difundir o ar a uma temperatura superior para a câmara, no entanto, como o sensor de temperatura se encontra logo por trás do evaporador, consegue detetar essa variação da temperatura, que é observada nestas duas figuras, quer para a câmara 12 quer para a câmara 15. Certos picos de temperatura podem não se dever à razão enumerada anteriormente, isto é, podem-se dever a aberturas das portas das câmaras por períodos mais ou menos longos, originando uma entrada de alguma massa de ar do corredor, a uma temperatura superior, o que provoca um aumento da temperatura das câmaras, ou ainda, à potência calorífica libertada pelos trabalhadores que possam estar dentro das mesmas.

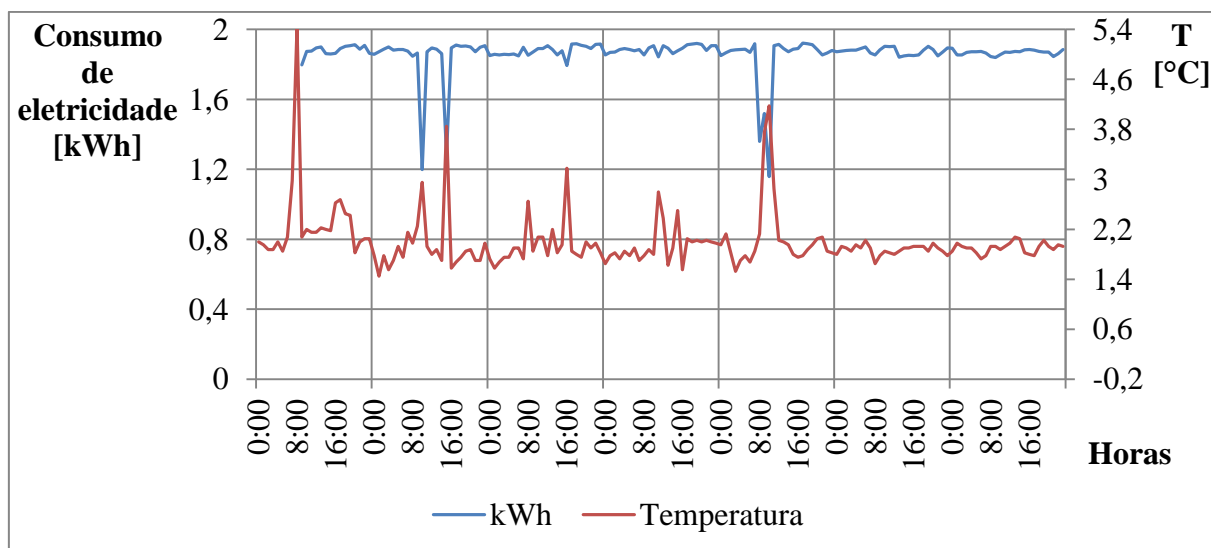


Figura 28 – Empresa 2: Câmara 12 - Consumo de Eletricidade vs Temperatura Interior

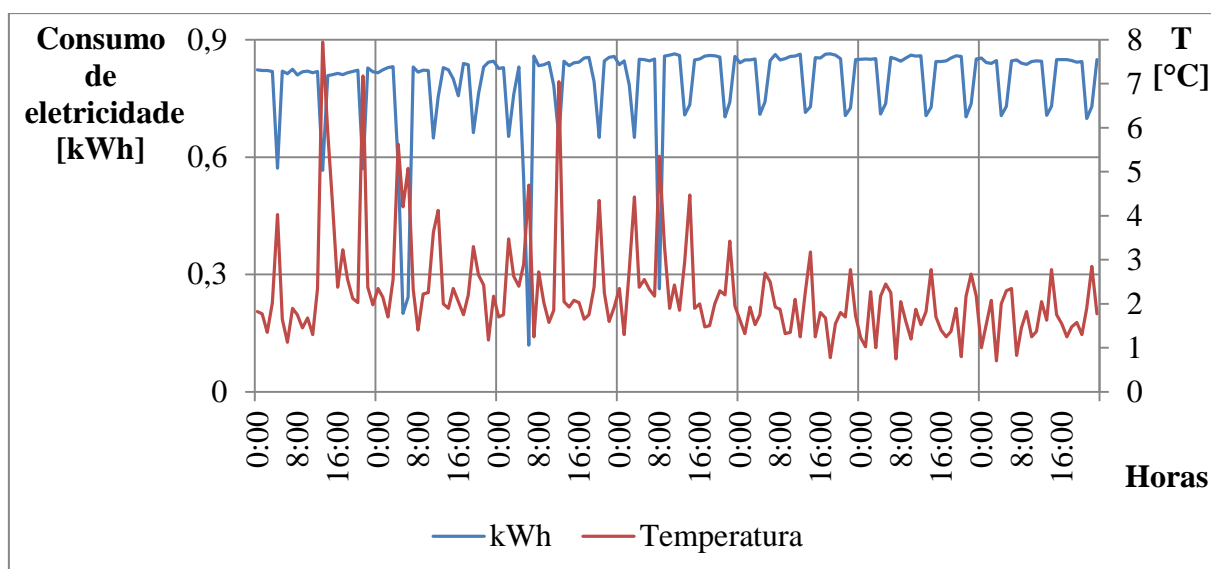


Figura 29 – Empresa 2: Câmara 15 - Consumo de Eletricidade vs Temperatura Interior

4.4.2 Consumo dos Compressores

Na Figura 30, é evidenciada a evolução do consumo do compressor ao longo da semana analisada. Verifica-se que este não tem um funcionamento uniforme, tendo vários picos e várias quebras. Uma vez que a potência do compressor é de 45 kW, verifica-se que este nunca esteve a trabalhar na sua carga máxima, durante uma hora completa, no entanto esteve próximo. Durante os dias de sexta-feira, sábado e domingo, verifica-se que o compressor pouco trabalhou, uma vez que, nestes dias, não existe, por norma, carregamento nem descarregamento de carne e, também, porque ao sábado e domingo a empresa não labora, embora o sistema de refrigeração continue a funcionar.

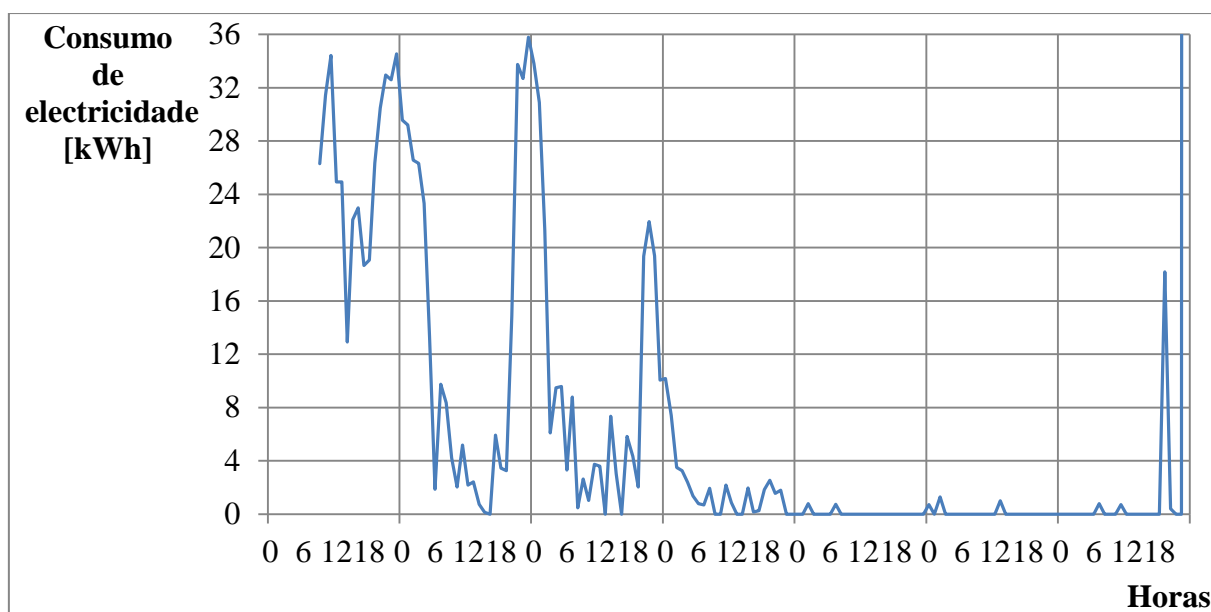


Figura 30 – Empresa 2: Consumo de Eletricidade do Compressor

4.4.3 Consumo da Torre de Refrigeração

Analisando o gráfico do consumo da torre de refrigeração, Figura 31, verifica-se que, de uma maneira geral, este é constante com o valor de 1,43 kWh, verificando-se algumas quebras esporádicas. Uma vez que a potência do motor da torre é de 7,5 kW os valores demonstrados neste gráfico não eram coincidentes com essa potência, o que significa que o mesmo estaria quase sempre a trabalhar a cerca de 20 % da sua capacidade, o que não pareceu credível de acontecer. Pensou-se que, em vez de estar a medir o consumo do motor, se poderia estar a medir o consumo da bomba de água pois, em princípio, a sua potência seria menor que a do motor mas, analisando os dados técnicos da torre, verificou-se que essa era de 750 W, o que também não coincidia com os valores do gráfico, concluindo-se, assim, que, ou o aparelho não esteve a medir corretamente, ou, então, o disjuntor onde estava ligado o equipamento estaria mal montado, não estando conectado à torre mas a outro equipamento. Existiu ainda mais um problema com esta medição uma vez que no sábado, o aparelho, deixou de medir corretamente. Desta forma, só foi possível obter o consumo de segunda a sexta-feira.

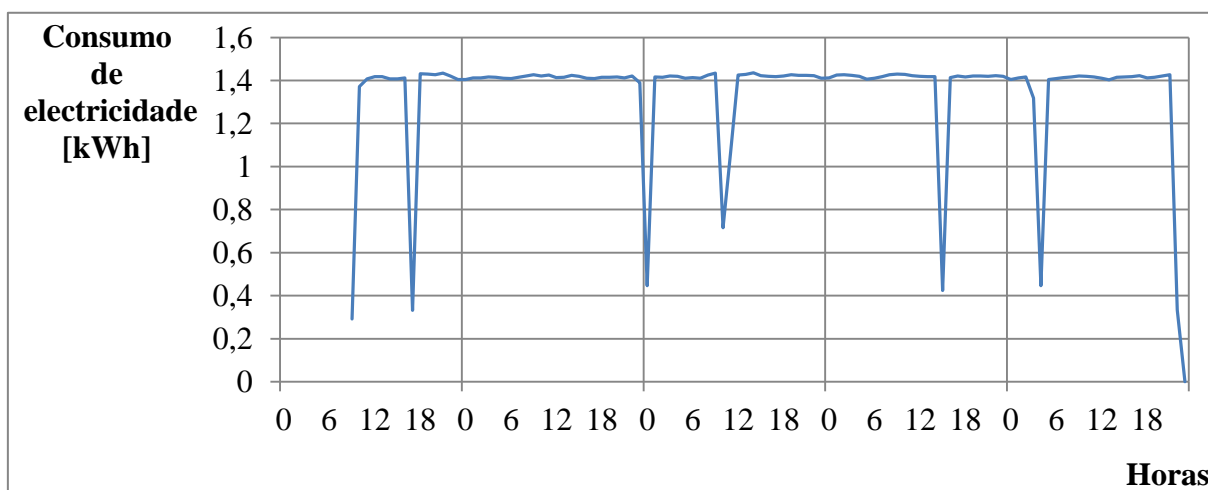


Figura 31 – Empresa 2: Consumo de Eletricidade da Torre de Refrigeração

4.4.4 Consumos Totais

Fazendo a soma dos consumos dos equipamentos monitorizados, verifica-se, como seria expectável, que o equipamento que consome mais energia é o compressor, cerca de 1 MWh numa semana, consumo bastante elevado. A câmara 12, devido a possuir mais motores e mais lâmpadas do que a câmara 15, além de ser consideravelmente maior em volume, consome mais, 312 kWh contra os 139 kWh da câmara 15. Na torre de refrigeração, como foi referido no subcapítulo anterior, não se conseguiu saber o que o equipamento esteve de facto a medir, não sendo possível tirar conclusões. Na Tabela 16, encontram-se reunidos os dados relativos a estes consumos.

Tabela 16 – Consumos de Eletricidade Medidos pelos Equipamentos *Efergy* e *Owl*

	<i>Consumo de Eletricidade Total da Semana [kWh]</i>
<i>Câmara 12</i>	312,23
<i>Câmara 15</i>	139,46
<i>Compressor</i>	1006,81
<i>Torre de Refrigeração *</i>	148,49

*o equipamento apenas mediu apenas até ao fim do dia de sexta-feira

4.5 Propostas de Melhoria através da Utilização de Novas Tecnologias

Na empresa 1, uma vez que a maioria dos equipamentos instalados têm cerca de 15 anos, a simples troca dos equipamentos instalados por equipamentos mais atuais, já levaria a uma poupança no consumo elétrico, uma vez que estes têm um valor de COP superior aos equipamentos de há 15 anos atrás. Deste modo, para o mesmo efeito frigorífico, os novos equipamentos necessitam de um menor trabalho de compressão, o que se traduz num menor gasto de energia.

Ao mesmo tempo, propõe-se a instalação de um sistema centralizado, que alimentaria todas as câmaras frigoríficas, podendo efetuar uma compressão por andares, que garante também um menor trabalho de compressão que uma situação tradicional, sendo para isso necessário no mínimo dois compressores. Esses compressores poderiam, ainda, possuir controlo por velocidade variável através de variadores de frequência, o que permitiria um melhor acompanhamento da carga frigorífica e originaria perfis de temperatura interiores das câmaras frigoríficas menos oscilantes e, dessa forma, mais estáveis.

Além disso, a implementação de variadores de velocidade dos motores, quer dos condensadores, por variação da frequência ou da tensão de saída, quer dos evaporadores, por variação da frequência, originaria poupanças significativas e evitaria tantos ciclos de *on* e *off*, quando se compara com os motores tradicionais, além de que, com esta tecnologia, os componentes dos motores não seriam sujeitos a tantos esforços, tendo assim, uma maior durabilidade, levando, deste modo, também a uma maior durabilidade do motor.

A implementação de válvulas de expansão eletrónicas levaria a um melhor controlo do caudal de fluido frigorigénico, originando também poupanças de energia.

O sensor *eCube*, como demonstrado por estudos feitos em instalações em que este foi implementado, garantiria uma poupança de, no mínimo, 10%, com um tempo de retorno do investimento muito pequeno. Desta forma, seria também do interesse da empresa, a implementação desta tecnologia.

A melhoria dos isolamentos e o seu correto dimensionamento garantiria, com certeza, poupanças na carga dos equipamentos.

Além disso, uma manutenção mais frequente e mais cuidada, que fosse preditiva em vez de corretiva, certamente, evitaria custos desnecessários. A gestão das práticas dos trabalhadores é, também, essencial para evitar desperdícios de energia e para que o sistema funcione mais eficientemente.

Na empresa 2, apesar de possuir um sistema bastante mais automatizado, eficiente e com um melhor cuidado na manutenção, do que a empresa 1, também tem aspetos que poderiam ser melhorados, bem como tecnologias que poderiam ser implementadas, o que reduziria os custos energéticos.

Em relação aos compressores, uma vez que os presentemente instalados possuem uma capacidade muito elevada, tendo também mais de 10 anos de existência, poderia ser do interesse da empresa adicionar um par de compressores com uma menor capacidade do que os que estão instalados e que possuíssem um controlo por velocidade variável, para se obter uma maior poupança de energia, de modo a que pudessem satisfazer as cargas mais pequenas sem ser necessário acionar um dos compressores maiores. O arranque, de um desses compressores de maior capacidade, é, no mínimo, de 50% da sua capacidade, correspondendo a 27,5 kW, o que para cargas pequenas é uma potência de compressão muito exagerada. Com a implementação destes compressores adicionais, de menor capacidade, esse problema já estaria corrigido.

Tal como na empresa 1, seria benéfico nesta empresa, a implementação de variadores de velocidade nos motores dos condensadores e dos evaporadores, o que, certamente, originaria poupanças de energia e aumentaria o tempo de vida dos mesmos.

Em relação ao sistema de expansão, não foi possível avaliar se já existia a implementação de uma válvula de expansão eletrónica. Se não existir essa válvula, a sua implementação originaria um controlo mais preciso do caudal de fluido frigorigéneo no sistema, levando a poupanças significativas de energia.

Tal como na empresa 1, a instalação de sensores *eCube*, garantiria uma poupança de energia significativa, com um tempo de retorno do investimento muito curto, e, desta forma, seria também uma tecnologia que traria benefícios para a empresa.

Ainda, tal como proposto para a empresa 1, seria importante analisar se o isolamento presente está bem dimensionado e se todos os equipamentos, que precisam de ser isolados, estão de facto isolados. De outra forma, existirão perdas de energia devido à falta de isolamento ou devido ao incorreto dimensionamento.

Em relação à manutenção, a empresa 2 já conta com um responsável pela instalação e desse modo, existe um cuidado com a mesma, não havendo grandes desperdícios de energia relacionados com esta área. Em relação às práticas dos funcionários, já existe, por parte desse responsável, uma preocupação em promover a adoção de boas práticas, pelos funcionários, bem como a sensibilização para as práticas que não devem ser utilizadas.

5 Conclusões

A redução dos custos energéticos em todos os setores de atividade tem sido tema de discussão e de análise em Portugal e em todo o mundo. Em Portugal, a indústria, nas últimas duas décadas, tem ocupado cerca de um terço do consumo final de energia. Deste modo, é de extrema importância uma caracterização deste sector no que diz respeito aos seus processos, de modo a que seja possível identificar possíveis medidas que possam reduzir custos energéticos. Algumas dessas medidas podem surgir através da melhoria da eficiência energética, mais concretamente através da instalação de equipamentos mais modernos e que, necessariamente, sejam mais eficientes.

O objetivo desta dissertação foi precisamente identificar, após a análise de casos concretos no sector do frio industrial, possíveis oportunidades de melhoria da eficiência energética, através de tecnologias mais modernas reduzindo assim, os custos energéticos.

Analizou-se duas empresas do sector das carnes onde se efetuou a monitorização dos seus sistemas de refrigeração. Mais concretamente, caracterizou-se os vários equipamentos dos seus sistemas, como compressores ou os motores dos condensadores e dos evaporadores e efetuou-se a medição das dimensões das câmaras frigoríficas de ambas.

Até ser possível efetuar o trabalho de campo, existiram muitas dificuldades que tiveram de ser ultrapassadas, sendo necessário realizar muito trabalho de preparação. Foi essencial preparar várias apresentações em *PowerPoint* para as várias empresas que foram contactadas, elaborar um catálogo muito extenso de equipamentos e de acessórios que são usados em sistemas de refrigeração. Algumas das empresas não se mostraram muito recetivas à realização do estudo por receio de perda de confidencialidade, apesar de estarem cientes de que poderiam poupar na sua fatura mensal de eletricidade. Felizmente, houve duas empresas que aceitaram a realização do estudo, apesar de não serem as que estavam inicialmente previstas.

Após a realização do trabalho de campo e da análise dos dados recolhidos nas empresas, verificou-se que na empresa 2 existe um sistema mais automatizado e mais eficiente, existindo um responsável pela instalação de refrigeração, enquanto na empresa 1 não existe qualquer responsável pela instalação e, de um modo geral, os equipamentos têm pouca manutenção, estando muitos deles em mau estado, quer a nível de isolamentos, de fugas de óleo, ou da presença de humidade de fluido frigorigénico ou mesmo da sua falta no circuito. Nesta empresa há apenas uma manutenção, realizada por terceiros, quando algum equipamento deixa de funcionar ou quando existe algum problema grave, não sendo esta a melhor forma de atuar.

Quanto ao ciclo termodinâmico em funcionamento, as duas empresas têm um ciclo de compressão a vapor, sendo que na empresa 2 o fluido frigorigénico usado é o amoníaco e na

empresa 1 são usados vários fluidos, tais como R404A, R422D, entre outros que não foi identificar. A existência de mais do que um fluido usado na empresa 1, deve-se ao facto desta possuir sistemas isolados para cada câmara, quer sistemas monoblocos, quer unidades condensadoras, com os respetivos evaporadores. Na empresa 2, existe um sistema centralizado que alimenta todas as câmaras frigoríficas.

Em relação à potência instalada de compressores, verificou-se que a empresa 2 possui cerca do dobro da empresa 1. A conjugação desses compressores com todos os equipamentos dedicados ao frio reflete-se no consumo de eletricidade final, da empresa 2, que é bastante alto.

Em relação a esses consumos das empresas, verificou-se que na empresa 1 esse valor é muito inferior ao da empresa 2, cerca de 4 vezes menos. No entanto, como a empresa 2 paga menos por cada kWh de eletricidade, cerca de 0,114 €/kWh, devido a ter fornecimento desta a média tensão, o valor final pago já não é 4 vezes maior, sendo bastante inferior.

A variação dos mesmos ao longo do ano é sensivelmente igual nas duas empresas, tendo os seus maiores picos no Verão e existindo picos menos intensos na época natalícia e na época da Páscoa.

Verificou-se que na empresa 2, o sistema está a trabalhar a uma capacidade inferior para a qual foi dimensionada. Desta forma, seria importante um ajuste da capacidade dos compressores de modo a poder satisfazer de uma melhor forma as necessidades da carga, uma vez que a mínima capacidade a que este sistema consegue operar é de 50 % da capacidade de um dos compressores, que corresponde a 27,5 kW, o que é exagerado. Além disso, o arranque de um compressor desta envergadura provoca um enorme gasto de energia. Assim, poderia existir mais um par de compressores, mais pequenos, mas com uma regulação da sua capacidade ou com possibilidade de velocidade variável, de modo a que, quando a carga seja pequena, não seja necessário acionar um dos compressores maiores, que gastam mais energia. Seria de ponderar, também, a implementação de variadores de velocidade nos motores dos evaporadores e no motor da torre de refrigeração.

Na empresa 1, pelo contrário, os sistemas estão a trabalhar perto da sua máxima capacidade. No entanto, uma vez que os sistemas instalados nesta empresa são bastante antigos, muitos com mais de 15 anos, seria benéfico proceder a uma reestruturação do sistema de refrigeração, passando a ter um sistema centralizado, que alimentasse todas as câmaras. Neste sistema deveria optar-se pela implementação de várias novas tecnologias como uma compressão por andares, que, garantidamente, permite um menor trabalho de compressão, tendo o mesmo efeito, bem como a instalação de variadores de velocidades nos compressores. Além disso, o uso de variadores de velocidade, quer nos motores dos condensadores, quer nos dos evaporadores, seria uma nova tecnologia a ser implementada, visto que levaria a custos mais reduzidos, evitando tantos ciclos de arranque e de paragem dos motores. Seria, ainda, essencial um bom sistema de controlo, de modo a que o sistema de refrigeração funcionasse da forma mais eficiente possível. A instalação de uma bateria de condensadores também garantiria uma poupança significativa nos custos energéticos. Seria essencial, também, que passasse a existir uma manutenção mais frequente e que esta fosse preditiva, e não corretiva, como acontece neste momento.

A instalação dos sensores *eCube* e a implementação de válvulas de expansão eletrónicas, nas duas empresas, levaria a uma redução dos custos, garantidamente.

Um bom isolamento e um correto dimensionamento da sua espessura, certamente reduziriam as cargas necessárias nas duas empresas.

Para além disso, será fundamental uma boa gestão das práticas dos trabalhadores das empresas, de modo a evitar desperdícios de energia.

É importante salientar a disponibilidade, a simpatia e a colaboração prestada pelos diversos profissionais das empresas na realização deste estudo, mostrando-se sempre recetivos para novas visitas e para o fornecimento de qualquer informação que era solicitada.

Esta dissertação constituiu uma mais-valia ao nível da preparação e do ganho de experiências para o mercado de trabalho, uma vez que foi necessário permanecer todos os dias da semana na empresa onde se desenvolveu o projeto, tendo de cumprir horários, lidar com várias pessoas, quer funcionários, quer engenheiros, usar roupa adequada às funções de uma empresa, o que foi muito benéfico e enriquecedor.

De referir ainda que, aquando da visita às empresas estudadas, também foi necessário lidar com todos os tipos de profissionais das mesmas, fazer-lhes a apresentação deste estudo, constituindo, também, uma boa preparação para o futuro no mercado de trabalho.

A realização do estudo propriamente dito foi importante, na medida em que permitiu a aquisição de alguma experiência na realização de auditorias energéticas simples e de conhecimento de alguns sistemas e de equipamentos utilizados na indústria, trazendo mais-valias para a entrada no mercado de trabalho, mais ainda se essa entrada se verificar na área da realização de auditorias energéticas.

Como trabalhos futuros, seria interessante fazer um estudo pormenorizado de uma das empresas, monitorizando todos os equipamentos e todas as câmaras durante algum tempo, de modo a ser possível avaliar a contribuição do sistema de frio para o custo final de eletricidade e detetar mais facilmente, oportunidades de melhoria que, neste projeto possam não ter sido conseguidas com os dados obtidos.

Seria ainda mais interessante, se houvesse possibilidade de implementação de algumas das tecnologias propostas neste trabalho, bem como a possibilidade de avaliar que impacto teriam no consumo final de energia das empresas, ou, então, realizar um estudo mais teórico e de laboratório, comparando algumas das tecnologias propostas nesta dissertação com tecnologias mais antigas, colocadas a funcionar em condições semelhantes, por exemplo, comparar um motor com velocidade variável com um motor tradicional de ciclos de *on* e *off*, ou, ainda, comparar o funcionamento de uma válvula de expansão eletrónica com uma válvula de expansão termostática.

6 Referências Bibliográficas

1. Cengel, Yunus A. and A. Boles, Michael, *Thermodynamics, An Engineering Approach*, 5th ed. 2004. McGraw-Hill;
2. Afonso, C., *Refrigeração*. 2013. FEUP;
3. Nascimento da Silva, M., *Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial*. 2005;
4. Danfoss. *Danfoss Learning*. Disponível em: <http://learning.danfoss.com/>.
5. Mota-Babiloni, Adrián, et al, *Commercial Refrigeration - An Overview of Current Status*, 2015;
6. Amador, João, *Produção e Consumo de Energia em Portugal: Factos Estilizados*, 2010;
7. Sá, E.S. and Alexandre, J.L., *Auditorias Energéticas no Sector de Frio Industrial. Medidas de Poupança e de Eficiência Energética*. 2007.
8. Lekov, A., *Opportunities for Energy Efficiency and Automated Demand Response in Industrial Refrigerated Warehouses in California*. 2009.
9. Embraco, *Embraco VCC 3rd Generation, The Intelligent Compressor*, Disponível em: <http://web.mit.edu/parmstr/Public/hvac/compressor/Embraco/03010.pdf>
10. Cuevas, Cristian and Lebrun, Jean, *Testing and Modelling of a Variable Speed Scroll Compressor*, 2009. 469-478.
11. Piedrahita-Velásquez, Carlos A., Ciro-Velásquez, Héctor J. and Gómez-Botero, Mario A., *Identification and Digital Control of a Household Refrigeration System with a Variable Speed Compressor*, 2014. 178-187.
12. Yu, F. W., and Chan, K. T., *Modelling of the Coefficient of Performance of an Air-cooled Screw Chiller with Variable Speed Condenser Fans*, 2006. 407-417
13. Europe Commercial Refrigeration, *Johnson Controls – Series P215PR/RM Direct- and Remote-Mount Pressure-Actuated Condenser Fan Speed Controllers for Single-Phase Motors*, Disponível em: http://www.ecr-nederland.nl/files/johnson_controls_bediening_p215_uk.pdf
14. Abdelaziz, E.A., Saidur, R. and Mekhilef, S., *A review on energy saving strategies in industrial sector*, 2011. 150-168;
15. Lazzarin, R., Noro, M., *Experimental Comparison of Electronic and Thermostatic Expansion Valves Performances in an Air Conditioning Plant*, 2008. 113-118
16. Microtherm, *Microtherm SlimVac – Vacuum Insulation Panels*, Disponível em: <http://www.microthermgroup.com/low/EXEN/site/vip-intro.aspx>
17. EnerEfficiency, *eCube – Simulador de Inércia Térmica de Alimentos*, Disponível em: <http://enerefficiency.pt/index.php?m=58&m2=115&m3=130>
18. Tassou, S.A., et al., *A Review of Emerging Technologies for Food Refrigeration Applications*. Applied Thermal Engineering, 2010. 263-276.

19. Yamasaki, Haruhisa, et al, *Introduction of Transcritical Refrigeration Cycle Utilizing CO₂ as Working Fluid*, 2004.
20. Sarbu, Ioan and Sebarchievici, Calin, *Review of Solar Refrigeration and Cooling Systems*, 2013. 286-297;
21. Rodrigues de Almeida, Jorge, *Manual de Formação – Sustentabilidade Ambiental: Eficiência Energética*, 2014.
22. Magueijo, Vítor, et al, *ADENE - Medidas de Eficiência Energética Aplicáveis à Indústria Portuguesa – Um Enquadramento Tecnológico Sucinto*, 2010.

7 Anexos

7.1 ANEXO A - Lista de Pontos a Ver nas Empresas

	<i>Descrição</i>	<i>Observações</i>
<i>Atividade da empresa</i>		
<i>Sector de atividade</i>		
<i>Capital social</i>		
<i>Ano de início de atividade</i>		
<i>Fontes de energia primária</i>		
<i>Número de câmaras</i>		
<i>Consumo médio mensal da empresa</i>		
<i>Consumo médio mensal de frio</i>		
<i>Potência instalada</i>		
<i>Zonas de frio</i>		

<i>Dados Técnicos</i>				
	<i>Descrição</i>	<i>Modelo</i>	<i>Fabricante</i>	<i>Ano</i>
	<i>Câmara</i>			
	<i>Ciclo termodinâmico</i>			
	<i>Fluido frigorigéneo</i>			
	<i>Compressor</i>			
	<i>Evaporador</i>			
	<i>Condensador</i>			
	<i>Motor ventilador</i>			
	<i>Sistema de expansão</i>			

	<i>Leitura</i>	<i>Observações</i>
<i>Zona de frio</i>		
<i>Dimensões da câmara</i>		
<i>Dimensões espaços climatizados</i>		
<i>Tamanho das portas</i>		
<i>Temperaturas interiores</i>		
<i>Temperatura de bolbo seco</i>		
<i>Temperatura de bolbo húmido</i>		
<i>Temperatura ambiente exterior</i>		
<i>Temperatura exterior</i>		
<i>Pressão de alta</i>		
<i>Pressão de baixa</i>		







<i>(cont.)</i>	<i>Leitura</i>	<i>Observações</i>
<i>Isolamento das portas</i>		
<i>Isolamento térmico das câmaras de refrigeração</i>		
<i>Acesso às câmaras por dia</i>		
<i>Duração média do acesso</i>		
<i>Utilização das câmaras</i>		
<i>Acesso às câmaras</i>		
<i>Toneladas de produto vendido/armazenado por ano</i>		
<i>Investimento nas instalações nos últimos 5 anos</i>		
<i>Quais os equipamentos que renovaram</i>		
<i>Número de operadores nas várias unidades de produção</i>		

<i>Manutenção e Instalação</i>			
	<i>Sim</i>	<i>Não</i>	<i>Observações</i>
<i>Existe plano de manutenção</i>			
<i>Manutenção por terceiros</i>			
<i>Contrato de manutenção</i>			
<i>Tem técnicos especializados</i>			
<i>Manutenção preventiva sistemática, preditiva</i>			
<i>Manutenção corretiva</i>			
<i>Custo médio anual na manutenção</i>			
<i>Última manutenção</i>			
<i>Isolamento secundário (lamelas, cortinas de ar)</i>			
<i>Iluminação interior automática</i>			
<i>Iluminação eficiente</i>			

<i>Manutenção e Instalação (cont.)</i>			
	<i>Sim</i>	<i>Não</i>	<i>Observações</i>
<i>Espaço exterior climatizado? Qual temperatura?</i>			
<i>Degelo automático</i>			
<i>Sistema de arrefecimento direto ou fluido secundário</i>			
<i>Variador de frequência</i>			
<i>Se 4 ou mais cilindros, possuem regulação de capacidade</i>			
<i>Sistema de controlo e monitorização de temperaturas</i>			
<i>Aproveitamento do calor dos compressores</i>			
<i>Portas de cais</i>			
<i>Produtos quentes nas câmaras</i>			
<i>Águas Quentes Sanitárias</i>			
<i>Está muito cheia a câmara?</i>			

<i>Estado</i>						
	<i>Muito mau</i>	<i>Mau</i>	<i>Satisfaz</i>	<i>Bom</i>	<i>Muito bom</i>	<i>Observações</i>
<i>Ferrugem na câmara</i>						
<i>Ferrugem porta</i>						
<i>Fecho da porta</i>						
<i>Borrachas de vedação da porta</i>						
<i>Gelo no evaporador</i>						
<i>Sujidade no compressor / condensador</i>						
<i>Estado do isolamento térmico camaras</i>						
<i>Estado do isolamento térmico portas</i>						
<i>Estado do isolamento térmico circuito de frio</i>						
<i>Distribuição dos produtos na camara</i>						
<i>Vazamento de óleo</i>						
<i>Visor de líquido</i>						

7.2 ANEXO B - Dados Técnicos *Efergy®* E2 Classic

Model Name	e2 classic
Model Number	EF010
Frequency	433MHz
Transmission Time	10, 15 or 20 Sec
Transmission Range	230 - 328ft (40 - 70m)
Voltage Range	100 - 600V
Measuring Current	50mA - 200A (max)
Memory	64K
Testing Standards	CSA - UL - FCC
The backlight will be activated from 18:00 to 6:00 hours	
     	

7.3 ANEXO C - Dados Técnicos Owl® +USB

Operating frequency 433MHz

Operating range up to 30m

12 second refresh rate

Display battery life > 14 months

Transmitter battery life > 14 months

Sensor suitable to monitor cables rated up to 71A

Storage Conditions: -25 °C to +65 °C

Relative Humidity: 25% to 95%

Operating Temperature: 0 °C to 40 °C

Ingress Protection: IP30

Standards

IEC 61010-1:2001(2nd Edition) /

EN 61010-1:2001(2nd Edition)

ETSI EN 300 220-1 V2.1.1 (2006-04)/

ETSI EN 300 220-2 V2.1.2 (2007-06)

ETSI EN 301 489-1 V1.8.1 (2008-04)/

ETSI EN 301 489-3 V1.4.1 (2002-08)

R&TTE

WEEE Directive, RoHS, Battery Directive

